



TESIS - EE185401

**PERANCANGAN JARINGAN *WIRELESS MESH*
AD-HOC MENGGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING*
BETTER APPROACH TO MOBILE AD-HOC
NETWORK (B.A.T.M.A.N) ADVANCED UNTUK
*AREA RURAL***

NAZMIA KURNIAWATI

07111650032001

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA

Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TESIS - EE185401

**PERANCANGAN JARINGAN *WIRELESS MESH*
AD-HOC MENGGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING*
BETTER APPROACH TO MOBILE AD-HOC
NETWORK (B.A.T.M.A.N) ADVANCED UNTUK
*AREA RURAL***

NAZMIA KURNIAWATI

07111650032001

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA

Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Nazmia Kurniawati
NRP. 07111650032001

Tanggal Ujian: 20 Desember 2018
Periode Wisuda: Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA.
NIP: 196510141990021001

(Pembimbing I)

2. Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.
NIP: 197903252003121001

(Pembimbing II)

3. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.
NIP: 197011111993031002

(Penguji)

4. Dr. Ir. Pudji Handayani, M.T.
NIP: 196605101992032002

(Penguji)

5. Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 197210012003121000

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP: 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“PERANCANGAN JARINGAN *WIRELESS MESH AD-HOC* MENGGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING BETTER APPROACH TO MOBILE AD-HOC NETWORK (B.A.T.M.A.N) ADVANCED* UNTUK AREA *RURAL*”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Desember 2018



NRP. 07111650032001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN JARINGAN *WIRELESS MESH AD-HOC* MENGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING BETTER* *APPROACH TO MOBILE AD-HOC NETWORK (B.A.T.M.A.N)* *ADVANCED* UNTUK AREA *RURAL*

Nama mahasiswa : Nazmia Kurniawati
NRP : 07111650032001
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Achmad Affandi, D.E.A
2. Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.

ABSTRAK

Jumlah pengguna seluler di Indonesia sudah mencapai lebih dari 406 juta sambungan aktif. Namun hanya sekitar 41.39 % dari seluruh wilayah Indonesia yang tercakup oleh infrastruktur telekomunikasi seluler. Area *rural* yang memiliki penduduk sedikit dan kekurangan fasilitas, dirasa bukan tempat yang cocok untuk investasi. Sehingga hanya sedikit perusahaan layanan telekomunikasi yang mau membangun jaringannya di area *rural*. Oleh karena itu solusi alternatif diperlukan untuk membawa telekomunikasi ke area *rural*.

Jaringan *wireless mesh ad-hoc* merupakan jaringan terdistribusi di mana setiap *node* dapat berkomunikasi secara langsung dengan *node* tetangganya. *Routing* protokol dibutuhkan untuk mengatur rute pengiriman informasi. *Routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* adalah salah satu *routing* protokol yang digunakan pada jaringan ini. Kelebihan *routing* ini adalah identitas *neighbor* yang terdeteksi adalah MAC *address* perangkat sehingga IP *address* tidak dibutuhkan dalam *routing* ini.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan jaringan *wireless mesh ad-hoc* di dua area *rural* yang memiliki kontur tanah berbeda: Pulau Sebir yang memiliki kontur tanah datar dan Desa Ngadas yang memiliki kontur tanah berbukit. Proses perancangan yang dilakukan adalah: mengidentifikasi profil area, meverifikasi karakteristik area, menentukan luas jangkauan, mengidentifikasi layanan; aplikasi; dan teknologi jaringan, mengestimasi QoS, menentukan komponen jaringan, menentukan kapasitas, menentukan posisi *node*, menghitung *link budget*, melakukan verifikasi kinerja jaringan, dan mengestimasi biaya. Dari hasil simulasi, dibutuhkan 3 buah *node* untuk mengcover Pulau Sebir dan 8 *node* untuk Desa Ngadas. Berdasarkan hasil kalkulasi *link budget*, *received signal* di Pulau Sebir memiliki nilai -76 dBm dan *link* radio di Desa Sebir berkisar antara -78 hingga -85 dBm. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *link* Pulau Sebir memiliki nilai E_b/N_0 20.34-20.57 dB dan Desa Ngadas memiliki nilai E_b/N_0 11.62-21.59 dB Jumlah *server* yang dibutuhkan untuk menampung seluruh *user* dengan presentase *blocking* maksimal 2% di Pulau Sebir adalah 1 buah *server* Raspberry Pi sedangkan di Desa Ngadas dibutuhkan 2 buah Raspberry Pi yang bekerja secara paralel. Dan dari hasil kalkulasi kapasitas jaringan dengan memperhitungkan efek *multi-hop*, 3 buah *node* di Pulau Sebir dan 8 *node* di Desa Ngadas dapat mengakomodasi kebutuhan *user*.

Kata kunci: perancangan, *wireless mesh ad-hoc*, B.A.T.M.A.N *Advanced*, area *rural*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

WIRELESS MESH AD-HOC PLANNING USING ROUTING PROTOCOL BETTER APPROACH TO MOBILE AD-HOC NETWORK (B.A.T.M.A.N) ADVANCED FOR RURAL AREA

By : Nazmia Kurniawati
Student Identity Number : 07111650032001
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Achmad Affandi, D.E.A
2. Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.

ABSTRACT

Cellular *users* in Indonesia has reached 406 million active *users*. However telecommunication infrastructure *covered* only 41.39% of the whole area. Having few residents and insufficient facilities, *rural* area isn't a good spot for investment. This results in only a few telecommunication service providers that is willing to build their network in such area. Therefore an alternative solution for bringin telecommunication to *rural* area is needed.

Wireless mesh ad-hoc network is a distributed network where every *node* able to communicate to its *neighbor nodes* directly. *Routing protocol* is needed to control information delivery routes. B.A.T.M.A.N *Advanced* is one of the *routing protocol* used in *wireless mesh ad-hoc* network. The advantage of this *routing* is detected *neighbors'* identity is *MAC address*. Therefore *IP address planning* isn't needed when implementing this *routing*.

In this research, *wireless mesh ad-hoc* network for two *rural* area that has different terrain is designed. The first area is Pulau Sebira that has flat terrain while the second area is Desa Ngadas that has hilly terrain. Design process is started with identifying region profile, verifying *rural* area characteristics, determining *coverage area*, identifying service; application; and network technology, estimating QoS, determining network components, determining network capacity, determining *nodes'* position, calculating *link budget*, verifying network performance, and estimating cost. From simulation result, 3 *nodes* are needed to *cover* Pulau Sebira while in Desa Ngadas 8 *nodes* are needed. Based on *link budget* calculation, *received signal* in Pulau Sebira is -76 dBm while in Desa Ngadas between -78 to -85 dBm. Based on calculation, E_b/N_0 in Pulau Sebira has value between 20.34-20.57 dB and in Desa Ngadas has value between 11.62-21.59 dB. Numbers of *server* needed to accomodate all *users* while maintaining *blocking* percentage under 2% in Pulau Sebira is 1 Raspberry Pi *server* and 2 parallel working Raspberry Pi in Desa Ngadas. From capacity calculation result with considering *multi-hop* effect, 3 *nodes* in Pulau Sebira and 8 *nodes* in Desa Ngadas are enough to accomodate the required bandwidth.

Keywords: *planning, wireless mesh ad-hoc, B.A.T.M.A.N Advanced, rural area.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan Nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puja dan puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan kepada penulis sehingga buku tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar magister pada program studi teknik elektro dengan bidang keahlian telekomunikasi multimedia, institute teknologi sepuluh nopember.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Kedua orangtua yang telah mendidik dan merawat penulis sampai bisa berada pada posisi ini.
2. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa sehingga penulis bisa menempuh pendidikan di kampus ini.
3. Bapak Achmad Affandi dan Istas Pratomo atas bimbingan serta kesabarannya terhadap penulis sehingga bisa menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya.
4. Bapak dan Ibu dosen telekomunikasi multimedia yang telah memberi banyak pengetahuan baru bagi penulis selama masa perkuliahan.
5. Rekan-rekan S2 atas kerjasamanya selama penulis menempuh studi pascasarja di jurusan teknik elektro.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu demi perbaikan dan penyempurnaan tesis ini maka saran dan kritik membangun sangat diharapkan. Besar harapan penulis bahwa buku tesis ini dapat memberi informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa jurusan teknik elektro pada khususnya.

Surabaya, Desember 2018



Penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Kontribusi	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait.....	5
2.2 Teori Dasar	7
2.2.1 <i>Wireless mesh ad-hoc</i>	7
2.2.1.1 Routing Protocol.....	8
2.2.1.1.1 Better Approach to Mesh Ad-hoc Network (B.A.T.M.A.N)10	
2.2.1.1.2 B.A.T.M.A.N Advanced.....	10
2.2.1.2 Pengaruh <i>Multi-hop</i> terhadap Kapasitas	13
2.2.1.3 Jaringan Seluler Konvensional VS <i>Wireless Mesh Ad-hoc</i>	14
2.2.1.4 Jaringan Wireless mesh ad-hoc di Area Rural	16
2.2.2 Teknologi 802.11.....	16
2.2.3 <i>Session Initiation Protocol (SIP)</i>	19
2.2.4 Longley-Rice Model.....	21

2.2.5	E_b/N_0	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Pendahuluan.....	25
3.2	Metodologi Perancangan	25
3.3	Perancangan Jaringan	26
3.3.1	Identifikasi Profil Area	26
3.3.2	Verifikasi Karakteristik <i>Rural</i> Area.....	28
3.3.3	Menentukan Luas Area Layanan.....	31
3.3.4	Identifikasi Layanan, Aplikasi, dan Teknologi Jaringan	31
3.3.5	Estimasi Nilai <i>Quality of Service</i> (QoS)	33
3.3.6	Menentukan Komponen Jaringan	35
3.3.6.1	Wireless Node	35
3.3.6.2	Antenna	37
3.3.6.3	Tower	38
3.3.6.4	Server	38
3.3.6.5	User Terminal.....	39
3.3.7	Menentukan Kapasitas Jaringan.....	39
3.3.8	Menentukan Posisi <i>Node</i>	39
3.3.9	Menghitung <i>Link Budget</i>	40
3.3.10	Verifikasi Performansi	42
3.3.11	Estimasi Biaya	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Metodologi Perancangan yang ditentukan	43
4.2	Implementasi Metodologi Perancangan di Area.....	45
4.2.1	Hasil Identifikasi Profil Area	45
4.2.2	Verifikasi Karakteristik Area <i>Rural</i>	45
4.2.3	Luas Jangkauan Area	47
4.2.4	Komponen Aplikasi VoIP	48
4.2.4.1	SIP Server Software.....	48
4.2.4.2	Audio codec.....	50

4.2.5	Teknologi Jaringan	52
4.2.5.1	Pemilihan Frekuensi Kerja.....	53
4.2.5.2	Routing Protocol.....	53
4.2.6	Pemilihan Komponen Jaringan	55
4.2.6.1	Wireless router	55
4.2.6.2	Server.....	57
4.2.6.3	Tower.....	59
4.2.6.4	User Terminal	59
4.2.7	Kapasitas Jaringan	61
4.2.8	Posisi <i>Node</i>	64
4.2.8.1	Posisi <i>Node</i> Pulau Sebir.....	65
4.2.8.2	Posisi <i>Node</i> Desa Ngadas.....	66
4.2.9	<i>Link Budget</i>	69
4.2.9.1	Hasil <i>Link Budget</i> Pulau Sebir.....	69
4.2.9.2	Hasil <i>Link Budget</i> Desa Ngadas	70
4.2.10	Verifikasi Performance Jaringan	72
4.2.10.1	<i>Coverage area</i>	72
4.2.10.2	Level Penerimaan Sinyal	72
4.2.10.3	Nilai E_b/N_0	75
4.2.10.4	Kapasitas	77
4.2.10.4.1	Server Raspberry Pi.....	77
4.2.10.4.2	Kapasitas Jaringan.....	78
4.2.11	Estimasi Biaya	82
4.2.11.1	Estimasi Biaya Investasi	82
4.2.11.2	Estimasi Biaya Instalasi	84
4.2.11.3	Estimasi Biaya Operasional	85
4.2.11.4	Estimasi Biaya Perawatan.....	87

4.3	Rancangan Akhir.....	88
4.3.1	Rancangan Akhir Jaringan Pulau Sebira.....	88
4.3.2	Rancangan Akhir Jaringan Desa Ngadas.....	90
BAB 5 PENUTUP		93
5.1	Kesimpulan.....	93
5.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Persebaran Jaringan Seluler di Indonesia [3].....	1
Gambar 2-1 Metodologi Rancangan Menurut Sen dan Raman [8].....	5
Gambar 2-2 Metodologi Perancangan menurut J. L. Ebongue, K. Fendji, dan J. M. Nlong [9].....	6
Gambar 2-3 Contoh Topologi <i>Mesh</i> [11].....	7
Gambar 2-4 Ilustrasi pengiriman OGM oleh <i>node</i>	11
Gambar 2-5 Ilustrasi pengiriman OGM pada Jaringan.....	12
Gambar 2-6 OGM yang diterima <i>node</i>	12
Gambar 2-7 Ilustrasi <i>Cell</i> (a) Jaringan Seluler Konvensional (b) Jaringan <i>Mesh</i> . 14	
Gambar 2-8 Konfigurasi Jaringan Seluler [16]	15
Gambar 2-9 Perbandingan Struktur <i>Channel</i> antara 802.11a/g dan 802.11n [18] 18	
Gambar 2-10 Jaringan SIP dengan gateway [19].....	20
Gambar 2-11 SIP Call Flow [20].....	21
Gambar 2-12 Bentuk Kurva Perbandingan tingkat <i>error</i> dengan E_b/N_0 untuk modulasi yang berbeda [24]	23
Gambar 3-1 Metodologi Perancangan yang Ditentukan.....	26
Gambar 3-2 Peta Pulau Sebir (Sumber: Google Maps)	27
Gambar 3-3 Peta Desa Ngadas (Sumber: Google Earth).....	28
Gambar 3-4 Hasil Survey Penggunaan Layanan TIK [33]	32
Gambar 3-5 (a) <i>Triangle Tower</i> (b) <i>Four Angle Tower</i> (c) <i>Monopole Tower</i> (d) <i>Self-Supporting Tower</i>	38
Gambar 3-6 Hasil Simulasi 1 <i>Node</i>	40
Gambar 4-1 Metodologi Perancangan (a) Dengan B.A.T.M.A.N <i>Advanced</i> (b) Tanpa B.A.T.M.A.N <i>Advanced</i>	44
Gambar 4-2 <i>Coverage area</i> Pulau Sebir	47
Gambar 4-3 <i>Coverage area</i> Desa Ngadas.....	47
Gambar 4-4 SIP Call Flow (a) Asterisk (b) Kamailio	49
Gambar 4-5 (a) <i>Session Client</i> 1 ke <i>Server</i> via Asterisk (b) <i>Session Server</i> ke <i>Client</i> 2 via Asterisk	50
Gambar 4-6 <i>Session Client</i> 1 dan <i>Client</i> 2	50
Gambar 4-7 Media <i>Session</i> G.711 Alaw.....	51

Gambar 4-8 Media <i>Session</i> G.711 Ulaw.....	51
Gambar 4-9 Media <i>Session</i> GSM	51
Gambar 4-10 Detected <i>Neighbors Routing</i> B.A.T.M.A.N <i>Advanced</i>	54
Gambar 4-11 Detected <i>Neighbors Routing</i> OLSR	54
Gambar 4-12 Perbandingan Jumlah Bit <i>Routing</i>	55
Gambar 4-13 Bentuk Fisik Raspberry Pi [42].....	57
Gambar 4-14 Hasil Eksperimen SIPP.....	58
Gambar 4-15 Flow <i>User</i> Melakukan Panggilan.....	60
Gambar 4-16 Tampilan <i>Website</i> Pulau Sebira (a) Laman <i>Home</i> (b) <i>Form Sign Up</i> (c) Laman Petunjuk Penggunaan (d) Laman Nomor Penting	60
Gambar 4-17 Hasil Simulasi <i>Coverage</i> Pulau Sebira	65
Gambar 4-18 Hasil Simulasi <i>Coverage area</i> Desa Ngadas	67
Gambar 4-19 Posisi <i>Node</i> Area 1 Desa Ngadas	67
Gambar 4-20 Posisi <i>Node</i> Area 2 Desa Ngadas	68
Gambar 4-21 Posisi <i>Node</i> Area 3 Desa Ngadas	68
Gambar 4-22 Radio <i>Link</i> Pulau Sebira	69
Gambar 4-23 <i>Link</i> Sebira (a) <i>Node</i> 1-2 (b) <i>Node</i> 1-3 (c) <i>Node</i> 2-3	69
Gambar 4-24 Radio <i>Link</i> Desa Ngadas.....	70
Gambar 4-25 <i>Link</i> Desa Ngadas (a) <i>Node</i> 1-2 (b) <i>Node</i> 1-7 (c) <i>Node</i> 2-7 (d) <i>Node</i> 2-8 (e) <i>Node</i> 3-4 (f) <i>Node</i> 3-8 (g) <i>Node</i> 4-5 (h) <i>Node</i> 5-6 (i) <i>Node</i> 7-3 (j) <i>Node</i> 7-8	71
Gambar 4-26 Hasil Optimasi <i>Link</i> Radio Desa Ngadas (a) <i>Node</i> 1-7 (b) <i>Node</i> 2-7 (c) <i>Node</i> 7-3 (d) <i>Node</i> 7-8	74
Gambar 4-27 <i>Coverage Area</i> Setelah Perubahan Posisi <i>Node</i> Ngadas.....	74
Gambar 4-28 Hasil Simulasi <i>Coverage Area</i> Setelah Optimasi Parameter	77
Gambar 4-29 Perbandingan Persentase Blocked SIP Call.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Perbedaan Jaringan Seluler dan <i>Wireless mesh ad-hoc</i>	15
Tabel 2-2 MCS <i>Channel</i> 20 MHz [18]	18
Tabel 2-3 MCS <i>Channel</i> 40 MHz [18]	19
Tabel 3-1 Variabel Klasifikasi Perkotaan dan Perdesaan [32].....	29
Tabel 3-2 Spesifikasi Protokol 802.11 [11].	33
Tabel 4-1 Profil Area Pulau Sebira.....	45
Tabel 4-2 Profil Area Desa Ngadas	45
Tabel 4-3 Hasil Verifikasi Karakteristik Area Pulau Sebira dan Desa Ngadas	46
Tabel 4-4 Luas Pemukiman Penduduk	47
Tabel 4-5 Alamat IP Perangkat Eksperimen Asterisk	48
Tabel 4-6 Jumlah Bit per Second <i>Audio codec</i>	52
Tabel 4-7 Spesifikasi Teknis Peralatan 2.4 dan 5.8 GHz [37]	52
Tabel 4-8 Spesifikasi <i>Wireless router</i> yang <i>Compatible</i>	56
Tabel 4-9 Spesifikasi Raspberry Pi [42]	57
Tabel 4-10 Harga Pembelian <i>Tower</i>	59
Tabel 4-11 Hasil Pengukuran <i>Bandwidth</i> 802.11g dan 802.11n.....	62
Tabel 4-12 Hasil Pengukuran <i>Multi-hop</i>	63
Tabel 4-13 Parameter Simulasi <i>Coverage Node</i> Pulau Sebira	65
Tabel 4-14 Posisi dan Parameter Site Pulau Sebira.....	66
Tabel 4-15 Parameter Simulasi <i>Coverage Node</i> Desa Ngadas.....	66
Tabel 4-16 Posisi <i>Node</i> Desa Ngadas	68
Tabel 4-17 Perhitungan <i>Link Budget</i> Area Pulau Sebira	70
Tabel 4-18 Perhitungan <i>Link Budget</i> Area Desa Ngadas.....	71
Tabel 4-19 <i>Received signal</i> VS <i>Rx Sensitivity</i> Pulau Sebira.....	73
Tabel 4-20 <i>Received signal</i> VS <i>Rx Sensitivity</i> Desa Ngadas	73
Tabel 4-21 Posisi Baru Site 7 Desa Ngadas.....	73
Tabel 4-22 <i>Link</i> Radio Setelah Perubahan Posisi <i>Site</i> Desa Ngadas 7	74
Tabel 4-23 Hasil Pehitungan E_b/N_0	75
Tabel 4-24 E_b/N_0 Hasil Optimasi	76
Tabel 4-25 Jumlah <i>Hop</i> Maksimum Setiap <i>Node</i>	78
Tabel 4-26 Kapasitas Per <i>Link</i> (Mbps)	79

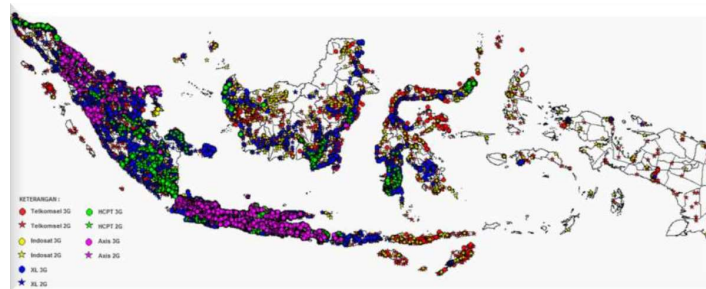
Tabel 4-27 Jumlah Maksimum <i>User Per Node</i>	79
Tabel 4-28 Asumsi Jumlah <i>User</i> Setiap <i>Node</i>	80
Tabel 4-29 Jumlah <i>User Per Node</i> berdasarkan Persebaran Penduduk	81
Tabel 4-30 Kebutuhan Data <i>User Per Node</i> (Mbps).....	81
Tabel 4-31 Sisa Kapasitas per <i>Link</i> dan Kebutuhan Data <i>User</i> (Mbps)	82
Tabel 4-32 Kebutuhan Daya Perangkat	83
Tabel 4-33 Estimasi Biaya Investasi Pulau Sebira	83
Tabel 4-34 Estimasi Biaya Investasi Desa Ngadas.....	84
Tabel 4-35 Estimasi Biaya Instalasi di Pulau Sebira	85
Tabel 4-36 Estimasi Biaya Instalasi Desa Ngadas	85
Tabel 4-37 Total Konsumsi Daya Perangkat Desa Ngadas Selama Sebulan.....	86
Tabel 4-38 Estimasi Biaya Operasional.....	87
Tabel 4-39 Estimasi Biaya Perawatan Preventif	87
Tabel 4-40 Estimasi Kenaikan Harga Komponen Per Tahun	88
Tabel 4-41 Spesifikasi Rancangan Akhir Jaringan Pulau Sebira	88
Tabel 4-42 Spesifikasi Rancangan Akhir Jaringan Desa Ngadas	90

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh wearesocial.com, dari 7.59 milyar jumlah penduduk di dunia terdapat 5.13 milyar pengguna layanan telepon selular [1]. Angka tersebut mengindikasikan bahwa lebih dari 2/3 penduduk di seluruh dunia sudah bisa menikmati layanan seluler. Di Indonesia, perbandingan jumlah penduduk dengan pengguna selular bahkan lebih tinggi. Berdasarkan hasil survey dari lembaga yang sama, terdapat 157% jumlah pengguna selular dari 265.4 juta penduduk. Hal tersebut menandakan bahwa satu orang bisa memiliki lebih dari satu nomor seluler. Namun mengejutkannya, infrastruktur jaringan selular hanya mencakup 41.39% dari seluruh area Indonesia [2]. Hal tersebut menandakan adanya ketidakmerataan dalam pembangunan infrastruktur telekomunikasi. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Balai Monitoring kelas II Denpasar, persebaran infrastruktur jaringan komunikasi seluler masih terpusat di Pulau Sumatera, Jawa, serta sebagian Pulau Kalimantan dan Sulawesi [3]. Pembangunan infrastruktur telekomunikasi masih sangat bergantung pada investasi operator penyedia layanan selular sehingga infrastrukturnya masih terpusat di daerah-daerah yang memiliki kota-kota besar dan padat penduduk. Jumlah penduduk yang banyak tersebut membawa pertumbuhan ekonomi yang cepat sehingga iklim investasi pun berkembang. Sementara di area *rural*, dimana tidak terdapat penduduk yang banyak, iklim investasi pun lambat. Operator layanan seluler pun tidak memperluas jaringannya di area-area tersebut karena tidak menguntungkan dari segi bisnis. Namun, kebutuhan penduduk di area yang tidak ter-*cover* jaringan seluler akan kebutuhan komunikasi tidak dapat dibiarkan. Oleh karena itu dibutuhkan solusi alternatif untuk masalah telekomunikasi di area *rural*.



Gambar 1-1 Persebaran Jaringan Seluler di Indonesia [3]

Salah satu solusi teknologi yang bisa digunakan sebagai alternatif untuk mengatasi ketidaktersediaan jaringan telekomunikasi di area *rural* adalah dengan mengembangkan jaringan *wireless mesh ad-hoc*. Jaringan *wireless mesh ad-hoc* adalah suatu jaringan yang terdiri dari beberapa *node* yang berkomunikasi melalui media nirkabel [4]. Setiap *node* dapat bekerja secara mandiri dan bisa berkomunikasi dengan *node* lain tanpa menggunakan jalur yang tetap. Selain itu, jaringan ini memiliki kemampuan *self-healing* dan *self-configuring* [5]. Sehingga ketika suatu *node* mengalami kegagalan/mati, maka *node* lain bisa membentuk kembali jaringan yang baru secara mandiri. Dengan menggunakan frekuensi radio sebagai media komunikasinya, *node* bisa diletakkan di tempat-tempat yang sulit dijangkau oleh media kabel. Berbagai macam layanan komunikasi bisa diberikan, seperti *voice call*, *video call*, *instant messaging*, dan *internet browsing* [6]. Dengan kemampuan dan fleksibilitasnya yang tinggi maka jaringan *wireless mesh ad-hoc* cocok digunakan sebagai solusi telekomunikasi alternatif di area *rural*.

Masalah penting dalam jaringan *wireless mesh ad-hoc* adalah protokol *routing*. Penempatan *node* yang tersebar secara acak menyebabkan setiap *node* harus mampu mencari jalur terbaik untuk menyampaikan informasi dari sumber ke penerima [4]. Banyak metode *routing* yang telah dikembangkan untuk jaringan ini. Salah satunya adalah *table-driven routing protocol* atau lebih dikenal dengan *routing* proaktif. Pada *routing* ini informasi disimpan pada sebuah tabel *routing* yang disebar ke seluruh jaringan. Kekurangan dari metode ini adalah seluruh *node* di jaringan menyimpan informasi seluruh jalur *routing* sehingga jaringan dipenuhi dengan informasi yang sama. Dengan menggunakan prinsip yang digunakan oleh *routing* proaktif, *routing* B.A.T.M.A.N generasi awal berhasil membagi informasi mengenai jalur *routing* dengan membuat setiap *node* hanya perlu menyimpan informasi *node* mana yang merupakan *best next hop*nya [7]. Sehingga *node* tidak perlu mengetahui topologi jaringan secara keseluruhan. Metode penentuan *neighbor* pada *routing* ini masih belum efisien karena penentuan *best next hop* hanya berdasarkan *sequence number*. Pada *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* yang dikembangkan selanjutnya, parameter *link quality* dimasukkan sebagai salah satu parameter penentuan *next hop*nya. Keistimewaan lain yang membuat *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* menarik adalah karena tidak seperti *routing* lain yang

bekerja pada *layer network*, *routing B.A.T.M.A.N Advanced* bekerja di *layer datalink*. Sehingga IP perangkat tidak menjadi masalah dalam *routing* ini. Keistimewaan tersebut menyebabkan *Internet Protocol (IP) address planning* untuk *node* tidak diperlukan dalam proses perancangan jaringan.

Untuk membangun suatu jaringan, tahap awal dalam pengerjaannya adalah proses perencanaan. Perencanaan dibutuhkan agar jaringan yang dibuat sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan, baik dari segi teknis maupun biaya. Tanpa perencanaan, banyak masalah yang bisa timbul baik dalam proses pembangunan jaringan, seperti *blank spot*, *IP conflict*, atau performansi saat jaringan telah dibangun, seperti *throughput* rendah, *latency* tinggi, *over budget*, dan sebagainya. Perancangan untuk area perkotaan dan area *rural* memiliki tantangan tersendiri. Pada area perkotaan, banyaknya bangunan tinggi menyebabkan besarnya *loss* dan banyaknya *scattering*. Pada area *rural*, tidak banyaknya media penghambur menyebabkan proses perencanaan dapat difokuskan pada faktor *coverage area* dan kapasitas jaringan.

Pada penelitian ini akan dirancang jaringan *wireless mesh ad-hoc* untuk area *rural* dengan menggunakan protokol *routing B.A.T.M.A.N Advanced*. Proses perancangan akan dimulai dengan menentukan metode perancangan yang cocok untuk area *rural*. Kemudian dilanjutkan dengan merancang jaringan untuk area yang ditentukan sesuai dengan metode yang ditetapkan. Jaringan yang dibuat harus dapat diverifikasi kinerjanya sehingga dapat dipastikan bahwa jaringan yang dibuat memang bisa diimplementasikan di area *rural*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Menentukan metodologi perancangan yang terstruktur dan aplikatif
2. Merancang jaringan sesuai dengan metodologi yang ditentukan
3. Melakukan verifikasi apakah jaringan yang dirancang telah sesuai dengan parameter yang dibutuhkan

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menentukan metodologi perancangan jaringan *wireless mesh ad-hoc* dengan *routing* protokol B.A.T.M.A.N *Advanced* yang cocok untuk diimplementasikan di area *rural*
2. Merancang jaringan area *rural* yang sesuai dengan metodologi yang ditentukan
3. Menganalisa kinerja *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* di jaringan *wireless mesh ad-hoc*
4. Melakukan verifikasi performansi jaringan yang dibuat

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Area yang digunakan ada dua macam: daerah dengan kontur tanah landai dan daerah dengan kontur tanah berbukit-bukit
2. Perangkat yang digunakan sebagai *node* adalah *wireless router*
3. Masalah keamanan jaringan tidak dibahas dalam penelitian ini

1.5 Kontribusi

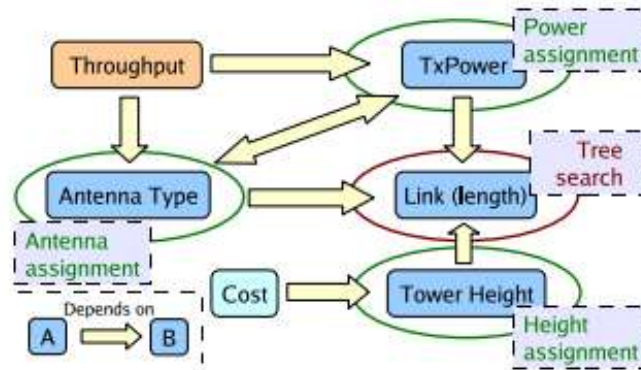
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa rancangan jaringan *wireless mesh ad-hoc* menggunakan protokol *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* yang dapat diimplementasikan di area *rural*.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

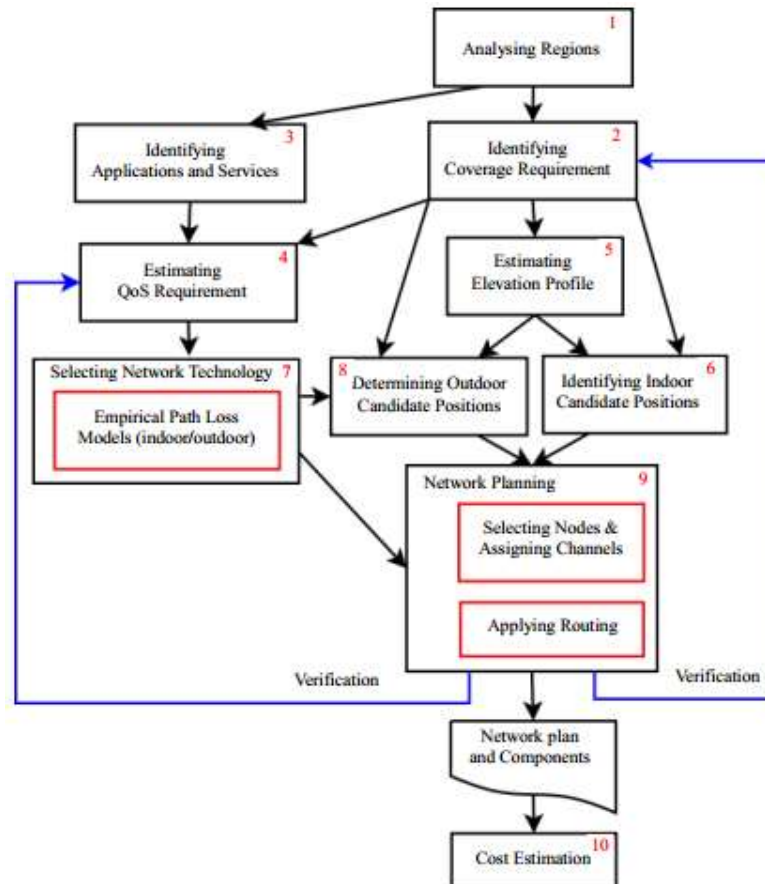
Sen dan Raman dalam *papernya* yang berjudul “*Long Distance Wireless Mesh Network Planning: Problem Formulation and Solution*” menyatakan bahwa untuk jaringan dengan lokasi penempatan *node* berada di area *outdoor*, ada empat faktor yang mempengaruhi *throughput*: tipe antena, besarnya daya pancar perangkat radio, panjang lintasan gelombang radio, dan tinggi *tower* [8]. Panjang lintasan (*link length*) sangat dipengaruhi oleh jumlah *tower*. Semakin luas area yang ingin *discover*, maka semakin banyak *tower* yang dibutuhkan. Semakin banyak *tower*, maka semakin besar biaya yang diperlukan. Dari hasil penelitiannya, biaya pembelian *tower* bisa mengambil porsi lebih dari 50% dari seluruh biaya. Oleh karena itu, jumlah *tower* yang dibutuhkan untuk jaringan *outdoor* harus direncanakan dengan baik. Penelitian ini memberikan formulasi masalah dan solusi untuk perencanaan jaringan *wireless mesh*. Namun formulasi masalah yang disampaikan hanya sebatas pada perencanaan *link* radionya saja.



Gambar 2-1 Metodologi Rancangan Menurut Sen dan Raman [8]

Jean Louis Ebongue, Kedieng Fendji, and Jean Michel Nlong dalam *papernya* memaparkan metodologi untuk merancang jaringan *wireless mesh* yang terdiri dari sepuluh step [9]. Pada metodologi tersebut dipaparkan proses desain yang dimulai dengan menganalisa profil area, kebutuhan *coverage*, aplikasi dan layanan, *Quality of Services* (QoS), dan profil ketinggian. Langkah selanjutnya adalah menentukan teknologi jaringan, posisi *indoor* dan *outdoor node*, pemilihan *node*, implementasi algoritma *routing*, perancangan jaringan dan komponen, dan diakhiri dengan

estimasi biaya. Metodologi ini menyajikan alur perancangan yang baik. Namun metodologi menempatkan penentuan komponen jaringan pada bagian akhir. Padahal perangkat yang digunakan menentukan nilai parameter saat melakukan kalkulasi *link budget*. Hal tersebut dapat berakibat berubahnya rancangan yang telah dibuat sebelumnya dikarenakan perangkat yang tersedia di pasar tidak sesuai dengan standar yang diinginkan.



Gambar 2-2 Metodologi Perancangan menurut J. L. Ebongue, K. Fendji, dan J. M. Nlong [9]

Sanjeeth Baliga, Karan Chudasama, dan Dayand Ambawade melakukan penelitian menggunakan Raspberry Pi yang terinstall RasPBX. Dari hasil pengukuran performansi yang dilakukan dengan menggunakan pycall *traffic generator* untuk membangkitkan panggilan SIP dalam jumlah banyak. Dari hasil eksperimen didapatkan jumlah panggilan terbanyak yang dapat dihandle oleh server dengan probabilitas *blocking* maksimal 5% adalah 172 panggilan per detik [10].

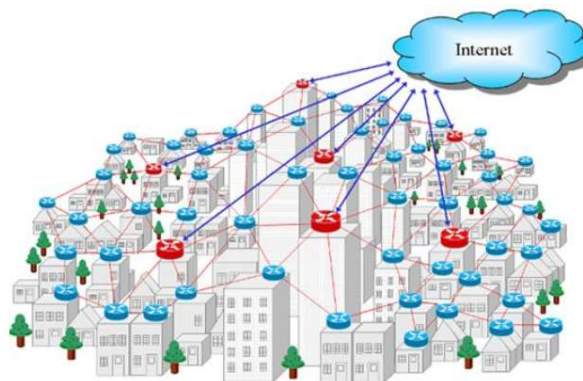
2.2 Teori Dasar

2.2.1 *Wireless mesh ad-hoc*

Jaringan *wireless mesh ad-hoc* dapat diartikan sebagai jaringan yang menggunakan media nirkabel sebagai media penyaluran informasi, sifat jaringannya yang terdistribusi, dan setiap *node* berhubungan secara langsung dengan *node* lain. Jaringan *mesh* sendiri mengambil konsep dari jaringan *multipoint-to-multipoint* (M2M) [11]. Berdasarkan nomenklatur IEEE 802.11, jaringan M2M disebut sebagai “*ad-hoc*” atau “*mode Independent Basic Service Set* (IBSS)”. Sebagian besar jaringan *wireless* saat ini bekerja berdasarkan komunikasi *Point-to-Point* (P2P) atau *Point-to-Multipoint* (P2M). *Wireless hotspot* bekerja pada P2M *infrastructure mode*. Jaringan tersebut terdiri atas sebuah *access point* yang bekerja pada *master mode*. *Access point* tersebut bekerja sebagai *master station* yang mendistribusikan akses jaringan ke seluruh *clientnya*. Prinsip kerja ini juga digunakan pada jaringan selular konvensional (2G, 3G, dan 4G).

Pada jaringan selular konvensional, satu area terbagi menjadi beberapa *cell*. *Cell* yang satu dengan *cell* lainnya menggunakan frekuensi yang berbeda sehingga tidak saling menginterferensi. Jika *user* pada *cell* A ingin menghubungi *user* yang berada di *cell* B, walaupun letak *cell* A dan B bersebelahan, jalur komunikasi antar *user* tersebut dirutekan ke melalui *Base Station Controller* karena antar *base station* tidak terjalin hubungan secara langsung.

Pada jaringan M2M, tidak terdapat *central node* seperti pada jaringan P2M. Oleh karena itu setiap M2M station harus dapat berkomunikasi langsung dengan station yang lain. Penerapan M2M lebih rumit dibandingkan P2M atau P2P dikarenakan tidak adanya *central node* yang mengatur *transmit time slots*.



Gambar 2-3 Contoh Topologi *Mesh* [11]

Namun di sisi lain, komunikasi M2M lebih serba guna dan lebih efisien dibandingkan P2P atau P2M. Karena pada komunikasi M2M, komunikasi P2P dan P2M juga dapat dilakukan. Hal itu berdasarkan fakta bahwa P2P dan P2M merupakan bagian dari M2M. Sebuah jaringan M2M yang terdiri dari hanya dua buah *node* akan membentuk konfigurasi P2P sebagai berikut:

A--B

Jika satu *node* ditambahkan pada jaringan M2M, maka akan terbentuk jaringan *mesh* seperti ini:

A--B--C

Dengan konfigurasi seperti itu, A hanya dapat berkomunikasi dengan B. C hanya dapat berkomunikasi dengan B. Sementara itu B dapat berkomunikasi dengan A dan C. A dan C berkomunikasi dalam P2P, sementara B dapat berkomunikasi secara P2M.

Tanpa adanya *routing protocol*, A dan C tidak dapat saling berkomunikasi dalam mode *ad-hoc*. Dengan menambahkan *routing protocol*, *node* A dapat secara otomatis mengetahui terdapat *node* C setelah *node* B, dan begitu pula sebaliknya. Dan *node* B dapat berfungsi sebagai *relay node* yang menjembatani komunikasi antara *node* A dan C. Pada kasus ini *node* B bertindak seperti *access point* pada komunikasi P2M *infrastructure mode*. Jika *node* berpindah, maka topologi dapat berubah menjadi *full mesh* di mana setiap *node* dapat saling terhubung satu sama lain secara langsung seperti ini:

A
/\n
B---C

Karena setiap *node* berfungsi sebagai penentu jalur pengiriman informasi, maka pada jaringan *wireless mesh ad-hoc* ketika satu *link* gagal maka *node* memiliki kemampuan untuk mencari rute lain secara mandiri supaya informasi bisa sampai ke *node* yang dituju. Fleksibilitas dalam penentuan rute pengiriman informasi ini lah yang menjadi salah satu kelebihan jaringan *wireless mesh ad-hoc*.

2.2.1.1 Routing Protocol

Routing merupakan proses pemilihan jalur terbaik yang dapat digunakan untuk mengirimkan paket di jaringan [12]. Protokol *routing* pada jaringan *ad-hoc* mengontrol bagaimana *node* memilih jalur terbaik untuk merutekan paket hingga

bisa diterima oleh *node* tujuan. Pada jaringan ini, setiap *node* harus dapat menemukan *node neighbour*nya secara mandiri. Oleh karena itu setiap *node* menyebarkan informasi mengenai dirinya ke *node-node* disekitarnya. Setiap *node* kemudian belajar mengenai *node* disekitarnya dan bagaimana cara berkomunikasi dengan *node* lain, sekaligus memberi pesan bahwa *node* tersebut berusaha menghubungi *node* lain.

Proses *routing* biasanya secara langsung menyebarkan informasi mengenai tabel *routing* yang berisi beragam rute untuk menuju *node* tertentu secara periodik. Tabel tersebut disimpan di *memory router*. Semakin banyak *neighbour node* maka akan semakin banyak informasi mengenai rute menuju *node* tersebut. Hal tersebut berdampak ke semakin besarnya ukuran tabel *routing*. Oleh karena itu diperlukan *routing* yang efisien.

Beragam metode *routing* dikembangkan agar proses penentuan rute bisa berlangsung secara efisien. Secara umum, metode *routing* untuk jaringan *ad-hoc* dibagi menjadi 3 macam : proaktif, reaktif, dan *hybrid*.

Routing proaktif bertujuan untuk menjaga konsistensi dan *update* informasi *routing* secara periodik antar *node*. Setiap *update* informasi mengenai *routing* disimpan dalam sebuah tabel. Oleh karena itu *routing* proaktif juga disebut sebagai *table-driven routing*. Contoh *routing* proaktif adalah *Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)*, *Optimized Link-State Routing (OLSR)*, dan *Topology-Based Reverse Path Forwarding (TBRPF)*.

Routing reaktif bekerja dengan cara menentukan rute hanya pada saat *node* melakukan *request* untuk dicarikan rute dengan menginisiasi proses *route discovery*. Setelah rute terbentuk, *node* menyimpan informasi tersebut hanya sampai *node* tujuan tidak lagi dapat diakses atau rute *expired*. Karena *routing* hanya terjadi ketika *node* melakukan permintaan pencarian rute, maka *routing* reaktif juga disebut sebagai *on-demand routing*. Contoh *routing* yang menggunakan prinsip tersebut adalah *Dynamic Source Routing (DSR)* dan *Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)*.

Skema pada *routing hybrid* menggabungkan protokol *routing on-demand* dan *table-driven*. Skema tersebut menjembatani perbedaan antara kedua protokol tersebut dan secara umum dapat memperbaiki performansi *routing*. Beberapa

contoh *routing hybrid* adalah *Zone Routing Protocol (ZRP)*, *Fisheye State Routing (FSR)*, *Landmark Ad-hoc Routing (LANMAR)*, *Relative Distance Micro-discovery Ad Hoc Routing (RDMAR)*, dan *Scalable Location Update-Based Routing Protocol (SLURP)*.

2.2.1.1.1 Better Approach to Mesh Ad-hoc Network (B.A.T.M.A.N)

Better Approach to Mesh Ad-hoc Network (B.A.T.M.A.N) merupakan salah satu protokol *routing* yang bekerja dengan menggunakan prinsip *routing* proaktif yang didesain untuk bekerja pada jaringan *mesh ad-hoc* dengan skema *multi-hop* [13]. *B.A.T.M.A.N project* yang dimulai dengan protokol dasar dan sebuah *user space routing daemon* berhasil menarik banyak perhatian selama beberapa tahun yang berujung pada munculnya banyak ide dan konsep untuk semakin mengembangkan *B.A.T.M.A.N*.

Konsep *routing* yang digunakan pada *B.A.T.M.A.N* adalah dengan membagi pengetahuan mengenai rute *end-to-end* terbaik antara *node* pada jaringan *mesh* dengan seluruh *node* yang ada di jaringan [7]. Setiap *node* hanya menerima dan menyimpan informasi mengenai *best next hops*-nya. Oleh karena itu informasi mengenai topologi seluruh jaringan tidak diperlukan. Protokol ini dirancang untuk dapat bekerja pada *link* komunikasi yang dinamis.

Pada awal pengimplementasiannya, *routing B.A.T.M.A.N* menggunakan *user space daemon* yang diberi nama *batmand* [14]. *Batmand* beroperasi pada *layer 3 (network layer)* dengan cara mengubah *table routing* dan menawarkan seluruh fungsi yang ada pada standar *routing daemon*.

2.2.1.1.2 B.A.T.M.A.N Advanced

Pada awal 2007 beberapa *developer* mulai berkesperimen dengan melakukan *routing* pada *layer 2 (datalink layer)*, berbeda dengan *routing* yang biasanya dilakukan pada *layer 3 (network layer)*. Saat itu hanya ada sedikit informasi yang diketahui mengenai *routing* pada *layer 2*. *Prototype* awal yang dikembangkan beroperasi pada *user space* yang berbentuk *daemon* yang bekerja pada *datalink layer*. Untuk membedakan *routing B.A.T.M.A.N* yang bekerja pada *layer 2* dan *layer 3*, maka ditambahkan akhiran “*Advanced*” (disingkat *adv*) sehingga muncullah *B.A.T.M.A.N Advanced* atau *batman-adv* [14]. *Routing B.A.T.M.A.N 0.3* digunakan sebagai basis algoritma *routing* yang digunakan pada

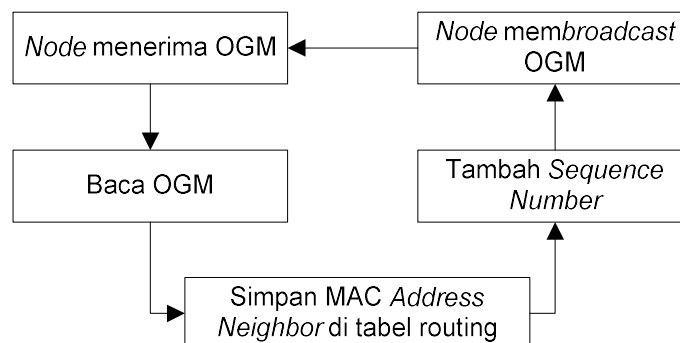
B.A.T.M.A.N *Advanced*, namun bukannya mengirimkan UDP paket dan memanipulasi tabel *routing*, B.A.T.M.A.N *Advanced* menyediakan *virtual network interface* dan secara transparan mengirimkan paket.

Namun *virtual interface* yang digunakan pada *userspace* membawa banyak *overhead* untuk *low-end wireless access point* yang menyebabkan harus dilakukannya implementasi ulang sebagai *kernel module*. Karena kekurangan tersebut, B.A.T.M.A.N *Advanced user space daemon* dihilangkan. Sehingga B.A.T.M.A.N *Advanced* yang sekarang digunakan hanya berupa *kernel module*. Hingga saat ini sebagian besar pengembangan dilakukan pada B.A.T.M.A.N *Advanced* yang merupakan bagian resmi dari Linux *kernel* sejak versi 2.6.38.

Algoritma protokol B.A.T.M.A.N *Advanced* dapat dideskripsikan sebagai berikut. Setiap *node* mengirimkan pesan *broadcast* yang disebut sebagai *originator messages* (OGM) untuk menginformasikan *neighbour nodes* mengenai eksistensinya. *Neighbour* tersebut kemudian menambahkan *sequence number* lalu me-*broadcast* kembali OGM untuk menginformasikan *neighbournya* mengenai eksistensi *node* yang mengirimkan OGM dan seterusnya. Sehingga seluruh *node* di jaringan akan menerima OGM. OGM berukuran 52 *byte*, yang berisi informasi berikut:

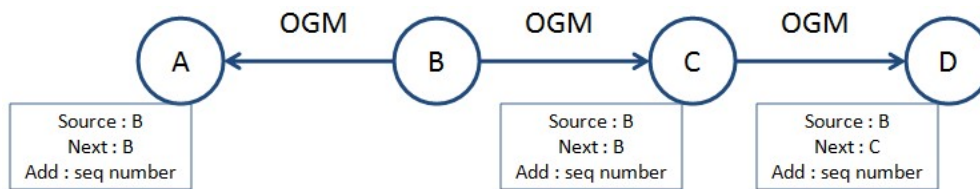
1. *Interface* dan *MAC address router*,
2. *Interface* yang digunakan untuk berkomunikasi antar *router*,
3. *MAC address router neighbour*, dan
4. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *router neighbour*.

Skema pengiriman OGM dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 2-4 Ilustrasi pengiriman OGM oleh *node*

Pada gambar berikut ini diilustrasikan penentuan jalur pengiriman selanjutnya oleh *node*.



Gambar 2-5 Ilustrasi pengiriman OGM pada Jaringan

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa setiap *node* akan menyimpan informasi *node* mana yang mengirim OGM dan *node* mana yang telah dilewati oleh OGM tersebut. Sebagai contoh *node* B mengirim OGM ke *node* A dan C. *Node* A dan C menyimpan informasi bahwa OGM diterima dari B. *Node* A dan C mengidentifikasi *node* B sebagai *neighbournya*. Kemudian *node* C yang telah menerima OGM dari *node* B akan mengirimkan kembali OGM tersebut yang telah ditambahkan *sequence number* ke *node* D. Dari OGM yang diterima, *node* D mengetahui bahwa *node* B adalah *neighbour node* C. Sehingga jika ada paket yang akan menuju *node* B akan dirutekan melewati *node* C. Dengan cara itu setiap *node* dapat memiliki informasi mengenai *node* mana yang harus dituju saat akan mengirim informasi tanpa harus mengetahui topologi jaringan secara lengkap. Berikut ini adalah contoh OGM yang diterima oleh *node*.

```

cat /sys/kernel/debug/batman_adv/bat0/neighbours
[B.A.T.M.A.N. adv d5e8ba8, MainIF/MAC: eth0/fe:fe:00:00:01:01
(bat0 BATMAN_IV)]
      IF      Neighbour      last-seen
      eth0    fe:fe:00:00:02:01  0.280s
  
```

Gambar 2-6 OGM yang diterima *node*

Informasi yang ditampilkan pada pesan di atas adalah :

- *Main IF/MAC* memberikan Informasi *interface* dan *MAC address router*
- *IF* menunjukan *Interface* yang digunakan untuk berkomunikasi antar *router*
- *Neighbour* menunjukkan *MAC address neighbour router*
- *Last seen* menginformasikan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *router neighbour*

OGM yang dikirimkan melalui rute yang kualitasnya rendah akan mengalami *packet loss* atau *delay* dalam perjalanannya selama di jaringan *mesh*. Oleh karena itu

OGM yang melewati rute yang kualitasnya baik akan lebih cepat sampai ke *node* selanjutnya.

Untuk membedakan apakah OGM sudah diterima sekali atau beberapa kali, *node* yang mengirimkan OGM akan memberikan *sequence number*. Setiap *node* yang paling tidak sekali mengirimkan ulang OGM yang diterima dan yang hanya menerima dari *neighbournya* yang diidentifikasi sebagai *best next hop* oleh *node* yang pertama kali mengirimkan OGM. Dengan cara seperti ini OGM dikirimkan secara selektif melalui jaringan *mesh* dan menginformasikan *node* yang menerima OGM mengenai eksistensi *node* yang lain.

2.2.1.2 Pengaruh *Multi-hop* terhadap Kapasitas

Jaringan *mesh* terdiri atas perangkat yang bekerja menggunakan satu frekuensi radio. Hal ini mengakibatkan implementasi jaringan *mesh* merupakan solusi untuk menyediakan jaringan komunikasi *wireless* dengan biaya yang rendah. Namun solusi ini muncul dengan sebuah *tradeoff*. Dengan hanya satu *wireless interface* pada setiap *node*, radio harus bekerja pada satu *channel* yang sama. Mengirimkan data dari *node* A ke C melalui *node* B mengurangi *bandwidth* sebanyak setengahnya. Hal tersebut disebabkan ketika *node* A mengirimkan data menuju *node* B, *node* B dan C harus dalam keadaan diam (no transmit). Saat *node* B meneruskan data ke *node* C, *node* A juga harus dalam keadaan diam. Hal yang sama berlaku pada dua *client* yang terhubung pada satu *access point* di *infrastructure mode* ketika mengirimkan data.

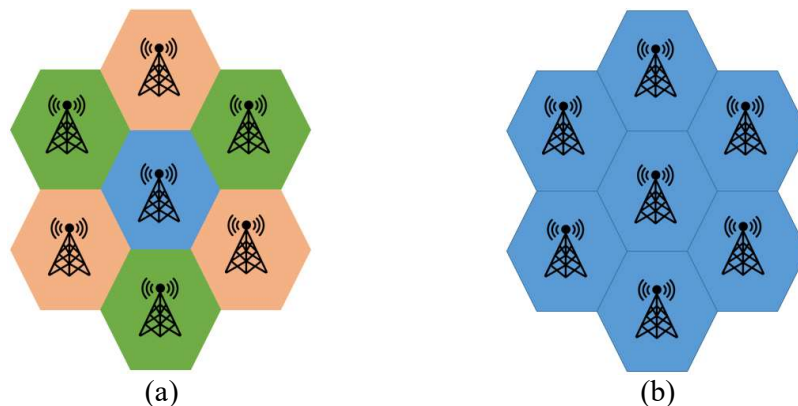
Menurut P. Gupta dan P.R. Kumar dalam [15], kapasitas pada setiap *link* terbagi sebesar $1/n$. Dimana n adalah jumlah *node* yang dilewati oleh informasi. Sehingga semakin banyak *hop* yang dilewati oleh informasi, maka semakin kecil kapasitas yang dapat tersedia.

Dengan digunakannya *single radio channel* pada jaringan *mesh*, maka setiap *cell* berperan sebagai perpanjangan jari-jari *cell* yang lain. Sehingga terbentuk satu *cell* besar yang melingkupi seluruh area. Tidak seperti jaringan selular konvensional yang setiap *cell* merupakan area independen yang tidak boleh saling menginterferensi dengan *cell* lain yang berdampingan. Pada jaringan *mesh* seluruh *cell* justru saling menginterferensi. Namun hal tersebut memang dimaksudkan karena setiap *cell* berperan sebagai perluasan dari *cell-cell* sebelahnya.

Walaupun terdapat *tradeoff*, jaringan *mesh* dengan *single radio link* memiliki banyak keuntungan seperti perangkatnya murah, konfigurasi tidak sederhana, dan mengkonsumsi daya lebih rendah dibandingkan *multi radio link*. Hal ini menjadi sangat penting jika jaringan yang dibangun menggunakan catuan dari sel surya atau membutuhkan baterai sebagai *backup*.

2.2.1.3 Jaringan Seluler Konvensional VS *Wireless Mesh Ad-hoc*

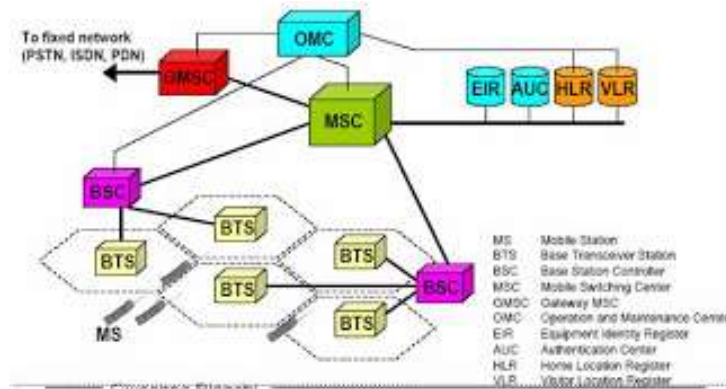
Jaringan *wireless mesh ad-hoc* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan jaringan seluler konvensional. Pada jaringan seluler, setiap *cell* menggunakan frekuensi yang berbeda. Sehingga diperlukan beberapa radio *channel* agar *cell* tidak menginterferensi *cell* yang lain. Sedangkan pada jaringan *wireless mesh ad-hoc*, setiap *cell* menggunakan frekuensi yang sama. Hal tersebut menyebabkan satu *cell* merupakan perluasan dari *cell* yang lain. Sehingga tercipta satu *cell* besar yang melingkupi seluruh area. Penggunaan frekuensi yang sama tentu saja tidak hadir tanpa *tradeoff*. Seperti telah dibahas pada subbab sebelumnya bahwa adanya *multi-hop* pada jaringan ini menyebabkan kapasitas yang tersedia terbagi sebesar jumlah *node* yang dilalui. Namun hal tersebut tidak menjadi masalah selama kapasitas yang dibutuhkan terpenuhi. Gambar di bawah ini mengilustrasikan *cell* pada jaringan seluler konvensional dan jaringan *wireless mesh ad-hoc*. Perbedaan warna pada *cell* menunjukkan bahwa frekuensi yang digunakan berbeda.



Gambar 2-7 Ilustrasi Cell (a) Jaringan Seluler Konvensional (b) Jaringan *Mesh*

Jaringan seluler merupakan jaringan bertingkat di mana *Base Transceiver Station* (BTS) merupakan *station* yang memiliki tingkatan paling rendah. Antar BTS dihubungkan oleh *Base Station Controller* (BSC). Dan setiap BSC

dihubungkan oleh *Main Switching Center* (MSC). Antar BTS tidak bisa terhubung secara langsung. Komunikasi antar BTS harus melewati BSC. Dan komunikasi antar BTS yang berbeda BSC, harus melalui MSC. Sehingga dibutuhkan *link backbone* yang menghubungkan antar *station* yang tingkatnya lebih rendah dengan *station* yang tingkatnya lebih tinggi. Pada jaringan *wireless mesh ad-hoc*. Setiap *node* pada jaringan memiliki hierarki yang sama dan setiap *node* terhubung secara langsung dengan *node* tetangganya. Karena sifat jaringan yang terdistribusi, maka pada jaringan *wireless mesh ad-hoc* tidak diperlukan adanya *link backbone* antar *station*. Namun tidak adanya *central node* pada jaringan *wireless mesh ad-hoc* menyebabkan setiap *node* harus memiliki kemampuan untuk *routing* karena tidak ada *node* yang khusus mengatur rute pengiriman informasi.



Gambar 2-8 Konfigurasi Jaringan Seluler [16]

Pada implementasinya, jaringan *wireless mesh ad-hoc* dapat menggunakan sinyal WiFi sebagai *carrier*. Sehingga perangkat yang dibutuhkan oleh *user* hanyalah *handphone* yang mendukung fungsi WiFi. Sedangkan pada jaringan seluler, selain *handphone*, *user* juga membutuhkan *simcard* yang berfungsi menghubungkan sinyal radio dari jaringan seluler ke perangkat *user*. Tanpa *simcard*, *user* tidak dapat terhubung ke jaringan. Tabel berikut ini merangkum perbedaan jaringan seluler dengan jaringan *wireless mesh ad-hoc*.

Tabel 2-1 Perbedaan Jaringan Seluler dan *Wireless mesh ad-hoc*

Parameter	Seluler	<i>Wireless mesh ad-hoc</i>
Radio Channel	- Multiple	- Single
Hierarki	- Bertingkat	- Sama
Link Backbone	- Butuh	- Tidak
Routing	- Di MSC	- Di Setiap Node
User Gadget	- Handphone - Simcard	- Handphone yang mendukung WiFi

2.2.1.4 Jaringan Wireless mesh ad-hoc di Area Rural

Di area *rural*, jumlah penduduk tidak sebanyak seperti di area urban. Letak pemukiman penduduk biasanya terpusat di suatu tempat. Sehingga kapasitas yang dibutuhkan tidaklah sebesar di area urban. Pada area *rural*, *coverage area* lebih diprioritaskan dibandingkan kapasitas. Hal ini cocok dengan karakteristik jaringan *wireless mesh ad-hoc* yang mengutamakan *coverage area* dibandingkan kapasitas. Selain itu jaringan ini dapat diimplementasikan menggunakan *wireless router* yang harganya jauh lebih murah dibanding perangkat radio untuk seluler. Selain itu *user* juga tidak memerlukan simcard untuk bisa terkoneksi ke jaringan. Selain itu dengan digunakannya single radio *channel*, biaya yang dibutuhkan untuk penggunaan frekuensi lebih sedikit, jika digunakan frekuensi berbayar. Namun sebenarnya implementasi jaringan *wireless mesh ad-hoc* dapat menggunakan sinyal WiFi yang tidak berlisensi. Sehingga biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun jaringan *wireless mesh ad-hoc* lebih sedikit dibandingkan dengan pembangunan jaringan seluler. Oleh karena itu jaringan *wireless mesh ad-hoc* cocok untuk diimplementasikan di area *rural*.

2.2.2 Teknologi 802.11

Teknologi 802.11 adalah bagian dari IEEE 802 yang mengatur mengenai spesifikasi teknologi *Local Area Network* (LAN). Dasar dari spesifikasi teknis 802.11 mencakup 802.11 MAC dan dua *layer* fisik: *Frequency-Hopping Spread-Spectrum* (FHSS) *physical layer* dan *Direct-Sequence Spread-Spectrum* (DSSS) *link layer*. Spesifikasi tersebut kemudian direvisi dengan menambahkan *physical layer tambahan* [17]. Teknologi 802.11 lebih dikenal dengan nama dagang Wi-Fi yang merupakan kependekan dari *Wireless Fidelity*.

Berdasarkan spesifikasi IEEE 802.11, terdapat lima variasi dari wi-fi, yaitu:

1. 802.11a

IEEE 802.11a adalah sebuah teknologi *wireless* yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari standar IEEE 802.11 yang asli, namun bekerja pada *bandwidth* 5.8 GHz dengan kecepatan maksimum hingga 54 Mbps. Metode transmisi yang digunakan adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), yang mengizinkan transmisi data secara paralel di dalam *subcarrier*.

Penggunaan OFDM memiliki keunggulan resistansi terhadap interferensi dengan gelombang lain. Standar ini selesai diratifikasi pada tahun 1999.

2. 802.11b

IEEE 802.11b merupakan pengembangan dari standar IEEE 802.11 yang asli, yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan hingga 5.5 Mbps atau 11 Mbps tapi tetap menggunakan frekuensi 2.4 GHz. Pada prakteknya, kecepatan maksimum yang dapat diraih oleh standar IEEE 802.11b mencapai 5.9 Mbps pada protokol TCP, dan 7.1 Mbps pada protokol UDP. Metode transmisi yang digunakan adalah DSSS.

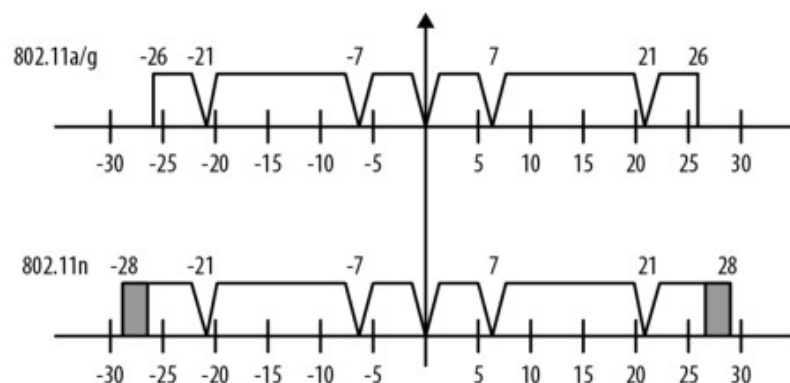
3. 802.11g

IEEE 802.11g adalah sebuah standar jaringan nirkabel yang bekerja pada frekuensi 2,45 GHz dan menggunakan metode modulasi OFDM. 802.11g yang dipublikasikan pada bulan Juni 2003 mampu mencapai kecepatan hingga 54 Mbps pada pita frekuensi 2.45 GHz, sama seperti halnya IEEE 802.11 biasa dan IEEE 802.11b. Standar ini menggunakan modulasi sinyal OFDM, sehingga lebih resistan terhadap interferensi dari gelombang lainnya. Kelebihan 802.11g adalah kecepatan maksimum lebih cepat, jangkauan sinyal yang baik dan tidak mudah terhalang. Kerugian 802.11g adalah biaya lebih mahal dari 802.11b; peralatan dapat terganggu pada sinyal frekuensi yang tidak teratur.

4. 802.11n

Struktur *channel* pada 802.11n pada dasarnya sama dengan 802.11 a/g, keduanya berdasarkan pada OFDM [18]. Oleh karena itu radio *channel* pada keduanya dibagi menjadi *subcarriers* yang saling *orthogonal* satu sama lainnya. 802.11n menyediakan beberapa perbaikan pada struktur *channel*.

802.11n menyediakan dua fitur untuk meningkatkan penggunaan spektrum radio. 802.11n menggunakan lebar *channel* 20 MHz. Pada 802.11n efisiensi spektral diperbaiki dengan menambahkan *subcarrier* yang tidak digunakan pada 802.11 a/g, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2-9 Perbandingan Struktur *Channel* antara 802.11a/g dan 802.11n [18]

Walaupun pada 802.11n ditambahkan empat data *subcarriers*, meningkatkan *throughput* hingga 8%, namun tidak ditambahkan pilot pada *subcarriers*. *Pilot subcarrier* digunakan untuk menyediakan pengukuran *channel*, kalibrasi, dan membentuk *overhead*. Perubahan lain pada 802.11n adalah protokol ini mendukung operasi pada *channel* dengan lebar 40 MHz. *channel* ini dibentuk dari penggabungan dua *channel* 20 MHz yang saling berdampingan. Penamaan *channel* pada *channel* 40 MHz sama dengan *channel* 20 MHz walaupun frekuensi tengahnya berubah.

Modulation and Coding Set (MCS) pada 802.11n adalah nilai yang mendeskripsikan jumlah *spatial streams*, modulasi (BPSK, QPSK, 16-QAM, ATAU 64-QAM), dan *error-correcting* yang digunakan saat transmisi. Dengan menggunakan kombinasi modulasi, *coding*, dan *spatial stream* yang berbeda maka dapat dicapai kecepatan yang berbeda pula. Tabel di bawah ini menunjukkan kombinasi modulasi, *coding*, dan *spatial stream* yang digunakan sebagai standar penentuan kecepatan pada 802.11n.

Tabel 2-2 MCS *Channel* 20 MHz [18]

Modulasi dan Coding	1 SS	2 SS	3 SS	4 SS
BPSK, R=1/2	6.5 (MCS0)	13.0 (MCS8)	19.5 (MCS16)	26.0 (MCS24)
QPSK, R=1/2	13.0 (MCS1)	26.0 (MCS9)	39.0 (MCS17)	52.0 (MCS25)
QPSK, R=3/4	19.5 (MCS2)	39.0 (MCS10)	58.5 (MCS18)	78.0 (MCS26)
16-QAM, R=1/2	26.0 (MCS3)	52.0 (MCS11)	78.0 (MCS19)	104.0 (MCS27)
16-QAM, R=3/4	39.0 (MCS 4)	78.0 (MCS12)	117.0 (MCS20)	156.0 (MCS28)
64-QAM, R=1/2	52.0 (MCS5)	104.0 (MCS13)	156.0 (MCS21)	208.0 (MCS29)
64-QAM, R=3/4	58.5 (MCS6)	117.0 (MCS14)	175.5 (MCS22)	234.0 (MCS30)
64-QAM, R=5/6	65.0 (MCS7)	135.0 (MCS15)	195.0 (MCS23)	260.0 (MCS31)

Tabel 2-3 MCS *Channel* 40 MHz [18]

Modulasi dan Coding	1 SS	2 SS	3 SS	4 SS
BPSK, R=1/2	13.55 (MCS0)	27.0 (MCS8)	40.5 (MCS16)	54.0 (MCS24)
QPSK, R=1/2	27.0 (MCS1)	54.0 (MCS9)	81.0 (MCS17)	108.0 (MCS25)
QPSK, R=3/4	40.5 (MCS2)	81.0 (MCS10)	121.5 (MCS18)	162.0 (MCS26)
16-QAM, R=1/2	54.0 (MCS3)	108.0 (MCS11)	162.0 (MCS19)	216.0 (MCS27)
16-QAM, R=3/4	81.0 (MCS 4)	162.0 (MCS12)	243.0 (MCS20)	324.0 (MCS28)
64-QAM, R=1/2	108.0 (MCS5)	216.0 (MCS13)	324.0 (MCS21)	432.0 (MCS29)
64-QAM, R=3/4	121.5 (MCS6)	243.0 (MCS14)	364.5 (MCS22)	486.0 (MCS30)
64-QAM, R=5/6	135.0 (MCS7)	270.0 (MCS15)	405.0 (MCS23)	540.0 (MCS31)

Pada Wi-Fi yang bekerja pada 2.4 GHz terdapat 13 *channel* yang masing-masing memiliki lebar 5 MHz. Berikut ini frekuensi *carrier* dari ke-13 *channel* tersebut.

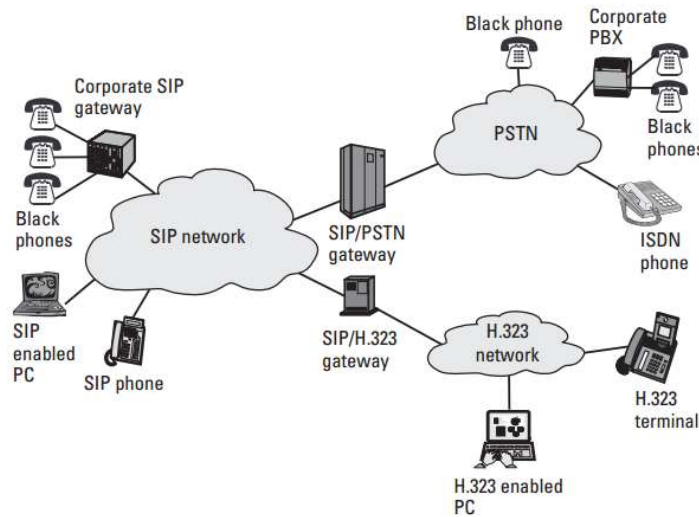
- *Channel* 1 : 2.412 GHz
- *Channel* 2 : 2.417 GHz
- *Channel* 3 : 2.422 GHz
- *Channel* 4 : 2.427 GHz
- *Channel* 5 : 2.432 GHz
- *Channel* 6 : 2.437 GHz
- *Channel* 7 : 2.442 GHz
- *Channel* 8 : 2.447 GHz
- *Channel* 9 : 2.452 GHz
- *Channel* 10 : 2.457 GHz
- *Channel* 11 : 2.462 GHz
- *Channel* 12 : 2.467 GHz
- *Channel* 13 : 2.562 GHz

2.2.3 *Session Initiation Protocol* (SIP)

Session Initiation Protocol (SIP) merupakan protokol *signalling*, *presence*, dan *instant messaging* yang dikembangkan untuk membangun, modifikasi, dan mengakhiri sesi multimedia, *request*, dan mengirimkan *presence* dan *instant messaging* melalui internet [19]. SIP dikembangkan oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF) sebagai bagian dari *Internet Multimedia Conferencing Architecture*, dan didesain agar bisa diintegrasikan dengan protokol Internet lainnya seperti :*Transmission Control Protocol* (TCP), *Transmission Layer Security* (TLS), *User*

Datagram Protocol (UDP), Internet Protocol (IP), Domain Name System (DNS), dan lainnya.

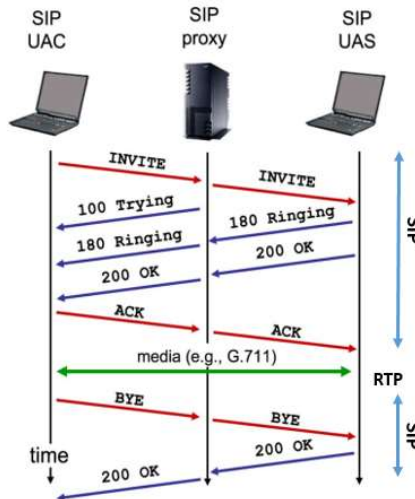
Salah satu tujuan SIP adalah agar dua *user agent* dapat saling terkoneksi dan melakukan hubungan. *User agent* mengambil *input* dari *user* dan bertindak sebagai *agent* untuk membangun serta mengakhiri *media sessions* dengan *user agent* lain. Pada banyak kasus, *user* merupakan manusia, namun *user* bisa juga berupa protokol lain, misalnya *gateway*. Berikut ini adalah contoh jaringan SIP yang terhubung dengan *gateway*.



Gambar 2-10 Jaringan SIP dengan gateway [19]

Gambar di bawah ini menunjukkan alur panggilan pada SIP. Tiga *entity* yang terlibat adalah *User Agent Client (UAC)*, *proxy server*, dan *User Agent Server (UAS)*. UAC mengirimkan *request INVITE* yang digunakan untuk membangun *media sessions* antar *user agent* ke *proxy server*. Kemudian *proxy server* meneruskan *request INVITE* tersebut ke UAS sekaligus mengirimkan respon 100 Trying ke UAC. Setelah *request* diterima, UAS mengirimkan respon 180 Ringing ke UAC melalui *proxy server* yang menandakan bahwa *request INVITE* telah diterima. Setelah itu UAS mengirimkan respon 200 OK yang berfungsi sebagai penanda bahwa pesan *INVITE* telah diterima dan UAC tidak perlu mengulang kembali pengiriman *request INVITE*. Setelah respon 200 OK diterima, UAC kemudian mengirim ACK sebagai respon *final* terhadap *request INVITE*. Setelah ACK diterima oleh UAS, *media session* berlangsung antara UAC

dan UAS. Pada contoh di atas terjadi komunikasi suara antara UAC dan UAS menggunakan *codec* G.711. Ketika UAC ingin mengakhiri *session*, maka *request* BYE akan dikirimkan. Setelah *request* diterima oleh UAS, respon 200 OK dikirim untuk mengakhiri *session*. Setelah respon diterima UAC, maka *session* berakhir.



Gambar 2-11 SIP Call Flow [20]

2.2.4 Longley-Rice Model

Model Longley-Rice memberikan prediksi *tropospheric radio transmission loss over irregular terrain mode* untuk radio link dari pengirim ke penerima [21]. Model ini disebut juga dengan nama *Irregular Terrain Model* (ITM). Model ini didesain untuk frekuensi antara 20 MHz-200 GHz dan panjang lintasan antara 1-200 km. Model ini memiliki dua mode prediksi: *point to point* dan *area*. Prediksi *point to point* memerlukan profil medan dalam perhitungannya. Sedangkan prediksi *area* mengestimasi pengaruh medan menggunakan metode empirik dan statistik. Hasil perhitungan ITM berupa nilai rata-rata atenuasi gelombang radio sebagai fungsi jarak dan variasi sinyal dalam domain waktu dan spasial. Model ini didesain untuk memudahkan kekasaran medan untuk bisa difaktorkan untuk menentukan kuat sinyal. Estimasi kuantitatif dari karakteristik propagasi membantu penentuan apakah sistem radio yang diusulkan sesuai dengan kebutuhan.

Model Longley-Rice tersedia dalam bentuk program komputer untuk mengkalkulasi rata-rata *loss* transmisi pada area yang luas terhadap *free space loss* [22]. Untuk jalur transmisi tertentu, faktor yang dijadikan parameter input adalah frekuensi transmisi, panjang lintasan, polarisasi, tinggi antenna, pembiasan permukaan, jari-jari bumi efektif, konduktivitas tanah, konstanta dielektrik tanah,

dan iklim. Untuk lintasan tertentu, parameter seperti jarak antar antena, sudut elevasi, jarak angular trans-horizon, dan iregularitas medan juga diperhitungkan. Sudah banyak modifikasi dan koreksi pada model ini dilakukan sejak model ini pertama kali dipublikasikan. Salah satu modifikasi penting dilakukan untuk perhitungan pada area urban. Modifikasi tersebut memperkenalkan *Urban Factor* (UF) sebagai parameter tambahan yang disebabkan oleh *urban clutter* yang terjadi di sekitar antena penerima. UF didapatkan dari perbandingan antara original Longley-Rice model dengan model Ukumura.

Kekurangan model Longley-Rice adalah model ini tidak menyediakan cara untuk menentukan faktor koreksi yang disebabkan oleh lingkungan di sekitar area penerima, seperti gedung atau vegetasi tanaman. Oleh karena itu pada model ini, *multipath* tidak diperhatikan.

2.2.5 Eb/N₀

Dalam komunikasi digital, Eb/N₀ (*energy per bit to noise power spectral density ratio*) digunakan sebagai *figure of merit* untuk menentukan kualitas sinyal [23]. Eb menunjukkan energi bit dan bisa dideskripsikan sebagai perkalian antara *signal power* S dengan waktu bit Tb. N₀ adalah *noise power spectral density* dan bisa dinyatakan dalam bentuk perbandingan antara *noise power* N dengan *bandwidth* W. karena waktu bit Tb setara dengan 1/Rb, Rb adalah *bit rate*, maka persamaan Eb/N₀ dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S T_b}{N/W} = \frac{S/R_b}{N/W} \quad (2.1)$$

Dimana:

S = kuat sinyal yang diterima (dBm atau mW)

Rb = *bit rate* (bps)

N = *power spectral density* (dBm atau mW)

W = *bandwidth* (Hz)

Untuk menghitung nilai *power spectral density*, digunakan persamaan berikut:

$$N = k T B \quad (2.2)$$

Dimana:

k = konstanta Boltzman (1.38 x 10⁻²³ J/°K)

T = temperatur (°K)

$B = \text{Bandwidth (Hz)}$

Sehingga persamaan 2.1 bisa diubah menjadi:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{R_b} \times \frac{W}{k T B} \quad (2.3)$$

Dimana W dan B memiliki satuan yang sama, Hz. Sehingga persamaan 2.2 dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{k T R_b} \quad (2.4)$$

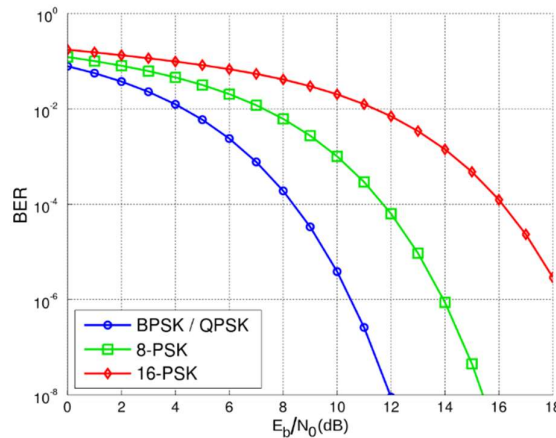
E_b/N_0 yang tidak memiliki satuan merupakan standar kualitas untuk pengukuran pada sistem komunikasi digital. Oleh karena itu, nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan dapat digunakan sebagai standar untuk mengkarakteristikan performansi suatu sistem dengan yang lain. Semakin kecil E_b/N_0 yang dibutuhkan, maka semakin efisien proses deteksi untuk probabilitas *error* tertentu.

Jika pada suatu layanan ditentukan nilai probabilitas *error* tertentu, maka dapat dicari berapa nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan dengan menggunakan *Q-function*.

$$P_b = Q(x) \quad (2.5)$$

Dimana nilai x dapat diketahui dari tabel fungsi Q .

Salah satu metrik performansi paling penting dalam sistem komunikasi *digital* adalah plot antara kemungkinan *bit error* P_b dengan E_b/N_0 . Kurva perbandingan P_b dengan E_b/N_0 berbentuk *water-fall*. Jenis modulasi yang digunakan sangat mempengaruhi nilai E_b/N_0 . Dari gambar di bawah ini dapat dilihat bahwa semakin tinggi modulasi yang digunakan, maka semakin besar nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat *error* tertentu.



Gambar 2-12 Bentuk Kurva Perbandingan tingkat *error* dengan E_b/N_0 untuk modulasi yang berbeda [24]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

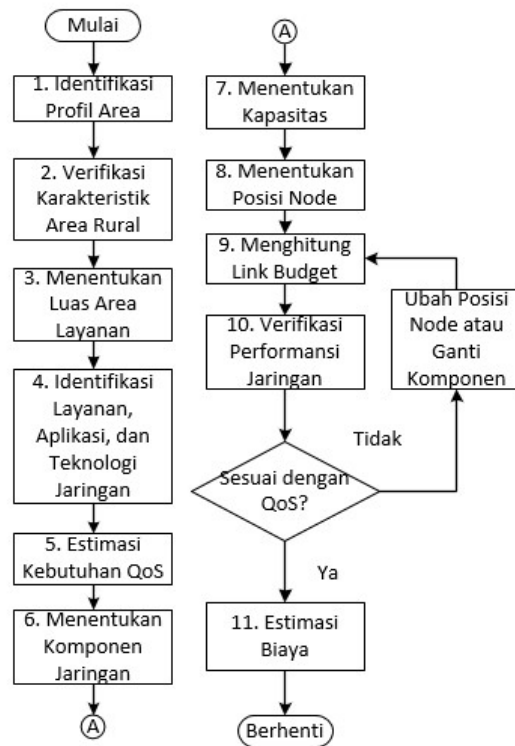
Pada penelitian ini, dilakukan perancangan jaringan untuk area *rural*. Teknologi jaringan yang digunakan adalah *wireless* dengan konfigurasi jaringan *mesh* dan dalam mode *ad-hoc*. *Routing protocol* yang digunakan adalah B.A.T.M.A.N *Advanced*. Penelitian ini dimulai dengan mempelajari literatur yang terkait dengan tema penelitian. Langkah selanjutnya adalah menentukan metodologi yang akan digunakan untuk merancang jaringan. Selanjutnya dilakukan perancangan sesuai dengan metodologi yang telah ditentukan. Dan langkah terakhir adalah melakukan verifikasi performansi jaringan yang dirancang.

3.2 Metodologi Perancangan

Pada [8] diberikan formulasi masalah untuk merancang jaringan *wireless*. Namun pada penelitian tersebut hanya diberikan formulasi masalah untuk perancangan *link* radio, bukan proses perancangan secara keseluruhan. Penelitian [9] menjabarkan proses perancangan jaringan secara keseluruhan. Namun pada penelitian tersebut, survey pasar untuk memastikan ketersediaan perangkat tidak dilakukan. Padahal survey pasar sangat penting untuk memastikan bahwa perangkat dengan spesifikasi yang diinginkan tersedia di pasaran. Hal ini penting dilakukan untuk menghindari terjadinya perubahan pada rancangan dikarenakan ketidaktersediaan perangkat dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Selain itu tidak dijelaskan alur pekerjaan yang harus dilakukan jika pada saat verifikasi, parameter yang diinginkan tidak tercapai.

Jaringan *wireless mesh ad-hoc* bekerja dalam sistem yang terdistribusi, sehingga tidak memerlukan *link* backbone. Dengan digunakannya *routing* protokol B.A.T.M.A.N *Advances*, IP *node* tidak dipermasalahkan karena *routing* ini bekerja pada *layer* *datalink*. Sehingga perencanaan alamat IP untuk *node* tidak diperlukan.

Dengan memodifikasi metodologi [9] dan menambahkan parameter yang disebutkan [8], maka dibuatlah metode perancangan yang mengutamakan kemudahan dalam implementasi, mempertimbangkan survey pasar, mengaplikasikan standar yang ditetapkan pemerintah, dan mengoptimalkan penggunaan *tools* yang tidak berbayar.



Gambar 3-1 Metodologi Perancangan yang Ditentukan

3.3 Perancangan Jaringan

Berdasarkan metodologi perancangan yang dibuat, metodologi ini terdiri dari sebelas *step*. Metodologi ini dirancang sedemikian rupa dengan fokus pada kemudahan dalam implementasi, mempertimbangkan survey pasar, mengaplikasikan standar yang ditetapkan pemerintah, dan mengoptimalkan penggunaan *tools* yang tidak berbayar. Berikut ini adalah penjelasan dari setiap tahap pekerjaan.

3.3.1 Identifikasi Profil Area

Pada tahap ini dilakukan identifikasi profil area yang akan dirancang. Mengetahui profil area sangatlah penting karena setiap area memiliki profil yang berbeda. Profil tersebut nantinya dapat menjadi faktor yang membuat rancangan jaringan di suatu area berbeda dengan area yang lain.

Informasi yang dibutuhkan saat mengidentifikasi profil area adalah:

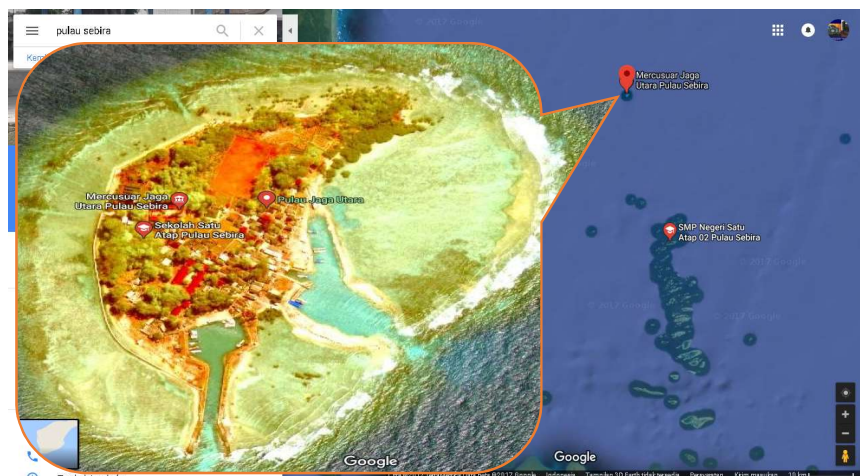
1. Jumlah penduduk
2. Luas area
3. Luas area pemukiman penduduk

4. Tingkat pertumbuhan penduduk
5. Rasio usia penduduk
6. Ketersediaan fasilitas umum
7. Pekerjaan penduduk
8. Profil ketinggian permukaan tanah

Untuk mendapatkan seluruh informasi yang dibutuhkan, survey dapat dilakukan. Namun untuk mempermudah pekerjaan, parameter nomor 1-7 bisa didapatkan dari data sensus Badan Pusat Statistik melalui *website* resminya <https://www.bps.go.id/>. Sedangkan profil ketinggian permukaan tanah bisa didapatkan dari Google Earth.

Pada penelitian ini dipilih dua area yang akan dirancang jaringannya, area pulau dan area perbukitan. Hal itu dilakukan agar bisa dibandingkan bagaimana pengaruh profil area terhadap bentuk rancangan jaringan yang dibuat.

Area pulau yang dipilih untuk perancangan ini adalah Pulau Sebir yang merupakan bagian dari Provinsi D.K.I. Jakarta. Pulau ini memiliki luas 8.82 hektar [25] dan berpenduduk sekitar 500 jiwa [26]. Infrastruktur yang tersedia di pulau ini masih sangat minim. Untuk kebutuhan sehari-hari penduduk lokal mengandalkan genset sebagai sumber listrik [27] serta masih belum tersedia layanan seluler yang *cover* area Pulau Sebir [28]. Pemukiman penduduk di pulau ini terpusat di sebelah selatan pulau yang dekat dengan pelabuhan. Mayoritas penduduknya bermata pencaharian sebagai nelayan.



Gambar 3-2 Peta Pulau Sebir (Sumber: Google Maps)

Area kedua yang dipilih untuk perancangan adalah Desa Ngadas yang memiliki kontur tanah berbukit-bukit. Desa ini terletak di Kecamatan Poncokusumo, Kabupaten Malang. Desa Ngadas merupakan desa wisata yang harus dilewati wisatawan ketika hendak mengunjungi Taman Nasional Bromo Tengger Semeru. Walaupun merupakan desa wisata, sinyal operator telekomunikasi tidak terdapat di area ini [29]. Pemukiman penduduk terpusat di tiga bagian: timur, tengah, dan barat. 85% dari luas area Ngadas digunakan sebagai area pertanian. Gambar di bawah ini menunjukkan area Ngadas. Area yang diberi tanda dengan garis merah merupakan area pemukiman penduduk.



Gambar 3-3 Peta Desa Ngadas (Sumber: Google Earth)

3.3.2 Verifikasi Karakteristik *Rural Area*

Pada tahap ini, karakteristik area *rural* diverifikasi. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa area yang dirancang jaringannya memang benar adalah area *rural*. Verifikasi ini diperlukan karena area *rural* dan urban memiliki kebutuhan yang berbeda.

Di dunia telekomunikasi, banyak penelitian telah dilakukan dengan menggunakan area *rural* sebagai acuannya. Namun definisi *rural* tidak dideskripsikan dengan jelas sehingga karakteristiknya dapat diinterpretasikan secara berbeda oleh setiap orang. Sebagai contoh, Masaharu Hata dalam *paper*-nya yang berjudul *Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services* memberikan persamaan untuk menghitung *path loss* di area *rural* [30]. Namun karakteristik area *rural* tidak dijelaskan dengan detail. Pada COST 207

GSM model, area *rural* didefinisikan sebagai area dimana nilai *delay* berkisar antara 0-0.6 μ s [31]. Namun definisi tersebut sulit untuk diaplikasikan karena harus dilakukan eksperimen terlebih dahulu. Oleh karena itu pendekatan yang lebih praktikal dibutuhkan.

Berdasarkan peraturan Kepala Badan Pusat Statistik nomor 37 tahun 2010 tentang klasifikasi perkotaan dan perdesaan di Indonesia, ada tiga indikator utama yang menentukan suatu daerah dapat dikategorikan sebagai perkotaan atau perdesaan, yaitu Kepadatan Penduduk per km² (KPD), Persentase Rumah Tangga Pertanian (PRT), dan Keberadaan atau Akses untuk Mencapai Fasilitas Perkotaan [32]. Berdasarkan 3 (tiga) indikator tersebut, suatu daerah dapat mencapai skor maksimum sebesar 26 dan dapat mencapai skor minimum sebesar 2. Sedangkan batas skor (cut of point) yang digunakan untuk penentuan perdesaan atau perkotaan adalah 10. Sehingga daerah yang mempunyai total skor 10 atau lebih ditetapkan sebagai daerah perkotaan (*urban*), sebaliknya daerah dengan total skor kurang dari 10 ditetapkan sebagai perdesaan (*rural*). Tabel berikut ini menunjukkan variabel klasifikasi beserta skornya.

Tabel 3-1 Variabel Klasifikasi Perkotaan dan Perdesaan [32]

Total Skor	
Skor minimum	2
Skor maksimum	26
Variabel / Klasifikasi	Skor
1. Kepadatan Penduduk Per Km ²	
• < 500	1
• 500 – 1249	2
• 1250 – 2499	3
• 2500 – 3999	4
• 4000 – 5999	5
• 6000 – 7499	6
• 7500 – 8499	7
• > 8500	8
2. Persentase Rumah Tangga Pertanian	
• > 70,00	1
• 50,00 – 69,99	2
• 30,00 – 49,99	3
• 20,00 – 29,99	4
• 15,00 – 19,99	5
• 10,00 – 14,99	6
• 5,00 – 9,99	7
• < 5,00	8
3. Akses Fasilitas Umum	0, 1, 2, ..., 10

A) Sekolah Taman Kanak-Kanak	
• Ada atau $\leq 2,5$ km *)	1
• $> 2,5$ km *)	0
B) Sekolah Menengah Pertama	
• Ada atau $\leq 2,5$ km *)	1
• $> 2,5$ km *)	0
C) Sekolah Menengah Umum	
• Ada atau $\leq 2,5$ km *)	1
• $> 2,5$ km *)	0
D) Pasar	
• Ada atau ≤ 2 km *)	1
• > 2 km *)	0
E) Pertokoan	
• Ada atau ≤ 2 km *)	1
• > 2 km *)	0
F) Bioskop	
• Ada atau ≤ 5 km *)	1
• > 5 km *)	0
G) Rumah Sakit	
• Ada atau ≤ 5 km *)	1
• > 5 km *)	0
H) Hotel / Bilyar / Diskotek / Panti Pijat / Salon	
• Ada	1
• Tidak ada	0
I) Persentase Rumah Tangga Telepon	
• $\geq 8,00$	1
• $< 8,00$	0
J) Persentase Rumah Tangga Listrik	
• $\geq 90,00$	1
• $< 90,00$	0
Total Skor $\geq 10 \rightarrow$ Daerah Perkotaan (Urban)	
Total Skor $< 10 \rightarrow$ Daerah Perdesaan (<i>Rural</i>)	

Definisi dan variabel yang ditetapkan oleh BPS tersebut digunakan sebagai referensi untuk memverifikasi karakteristik area yang akan dirancang jaringannya. Hal itu disebabkan variabel yang ditentukan oleh BPS mudah untuk dicek. Selain itu, BPS menyediakan data untuk seluruh daerah di Indonesia dan dapat diunduh secara gratis di *website* resminya.

Namun pada beberapa kasus, daerah *rural* tidak selalu memiliki area pertanian, contohnya pulau terpencil, desa wisata, atau kampung nelayan. Untuk area tersebut, variabel lahan pertanian dapat diabaikan. Oleh karena itu identifikasi profil area sangat dibutuhkan sebagai langkah awal perancangan.

3.3.3 Menentukan Luas Area Layanan

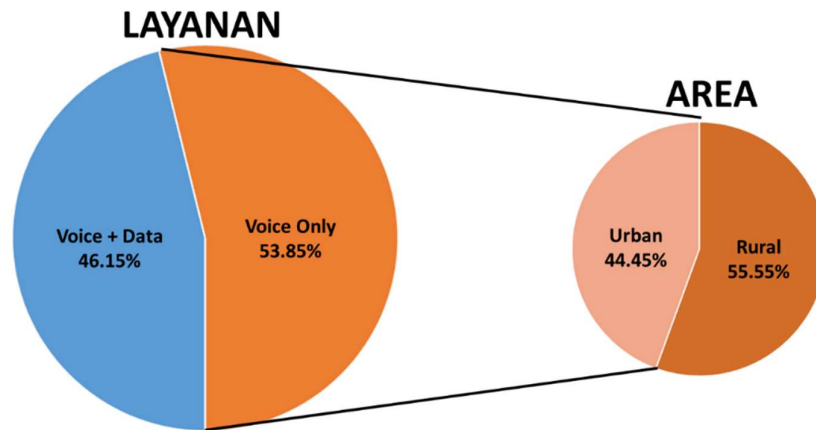
Pada area *rural*, luas daerah tidak sama artinya dengan luas jangkauan area. Hal tersebut dikarenakan pada area *rural* banyak terdapat area terbuka yang tidak didiami penduduk. Oleh karena itu tidak seluruh area harus mendapatkan layanan.

Untuk menentukan area mana saja yang perlu *tercover* jaringan, data *visual* sangat diperlukan. Salah satu sumber data yang paling mudah digunakan, dapat diakses secara gratis, dan selalu mengalami pembaharuan adalah Goggle Earth atau Google Maps. Dengan memanfaatkan *tools* milik Google tersebut, dapat diketahui area mana yang harus *discover* atau tidak. Selain itu, BPS juga menyediakan data fasilitas apa saja yang terdapat di suatu daerah, misalnya kantor pemerintahan, sekolah, rumah sakit, pasar, terminal, dan lainnya. Dengan menggabungkan data visual Google Earth/Maps dan data statistik BPS dapat ditentukan area mana yang cukup *discover* oleh *outdoor node* dan area mana yang memerlukan *indoor node*.

3.3.4 Identifikasi Layanan, Aplikasi, dan Teknologi Jaringan

Pada tahap ini, diidentifikasi layanan apa yang akan diberikan pada penduduk. Penduduk yang tinggal di lingkungan yang berbeda memiliki kebutuhan yang berbeda juga. Penduduk yang tinggal di desa wisata mungkin membutuhkan layanan yang lebih beragam dibandingkan penduduk yang tinggal di perkampungan nelayan. Atau daerah yang memiliki banyak penduduk usia lanjut lebih membutuhkan komunikasi suara dibandingkan teks.

Dari hasil survey penggunaan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Informatika dan Informasi dan Komunikasi Publik, Badan Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia tahun 2017, terdapat 53.85% dari masyarakat Indonesia yang hanya menggunakan layanan komunikasi *voice* selular [33]. Dari jumlah tersebut, 55.55% *user* berada di area *rural*. Dari hasil survey tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa komunikasi suara masih menjadi primadona layanan telekomunikasi di Indonesia. Oleh karena itu layanan yang akan disediakan di Pulau Sebir dan Desa Ngadas adalah layanan komunikasi suara atau VoIP.



Gambar 3-4 Hasil Survey Penggunaan Layanan TIK [33]

Langkah selanjutnya adalah menentukan aplikasi yang dibutuhkan untuk bisa mengakomodasi layanan yang ditawarkan. Untuk bisa membawa layanan komunikasi suara, maka dibutuhkan aplikasi VoIP. Dua hal penting dalam pemilihan komponen VoIP adalah *SIP server software* dan *audio codec*. *SIP server software* berfungsi sebagai *server* yang melayani panggilan. Sedangkan *audio codec* akan menentukan berapa kebutuhan data untuk setiap *user*. Eksperimen dilakukan untuk menentukan kedua komponen tersebut.

Teknologi 802.11 atau dikenal juga dengan nama *wireless Local Area Network* (LAN) dengan konfigurasi *mesh* dan bekerja dalam mode *ad-hoc* merupakan alternatif yang cocok untuk diimplementasikan di area *rural*. Teknologi ini bekerja dengan sistem terdistribusi sehingga tidak diperlukan adanya *central node* yang mengatur keseluruhan jaringan. Tidak seperti pada jaringan seluler konvensional, setiap *node* bekerja pada frekuensi yang sama. Setiap *node* baru yang dipasang di ujung area jangkauan merupakan perpanjangan jari-jari *cell*. Sehingga satu jaringan *mesh ad-hoc* membentuk satu *cell* yang luas. Hal ini cocok untuk diterapkan di area *rural* yang lebih mementingkan luas jangkauan dibandingkan kapasitas. Karena sifatnya yang terdistribusi, setiap *node* dalam jaringan *mesh ad-hoc* memiliki kemampuan untuk menentukan ke *node* mana informasi harus dikirimkan agar bisa mencapai *node* yang dituju. Ketika suatu *link down* atau terputus, *node* memiliki kemampuan untuk mengubah jalur pengiriman informasi agar informasi tetap dapat sampai ke *node* yang dituju. Oleh karena itu setiap *node*

memiliki kemampuan *routing*. Fleksibilitas ini tidak dimiliki oleh jaringan seluler konvensional.

Setiap generasi 802.11 memiliki maksimum *throughput* yang berbeda. Pada beberapa generasi, teknologi ini bekerja pada frekuensi 2.4 dan 5 GHz. Oleh karena itu dapat dipilih frekuensi dan *throughput* yang sesuai dengan kebutuhan jaringan yang dirancang. Tabel di bawah ini menunjukkan spesifikasi protokol 802.11.

Tabel 3-2 Spesifikasi Protokol 802.11 [11].

802.11 Protocol	Freq (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data rate per Stream (Mbit/s)	Jangkauan Indoor (m)	Jangkauan Outdoor (m)
a	5	20	Up to 54	35	120
b	2.4	20	Up to 11	35	140
g	2.4	20	Up to 54	38	140
n	2.4	20	Up to 72.2	70	250
	5	40	Up to 150		
ac	5	20	Up to 87.6		
		40	Up to 200		
		80	Up to 433.3		
		160	Up to 866.7		

Pada bab selanjutnya akan dilakukan eksperimen untuk mengetahui kapasitas maksimal yang disediakan oleh protokol 802.11. Hal tersebut dilakukan untuk bisa mengetahui kapasitas real perangkat.

3.3.5 Estimasi Nilai *Quality of Service* (QoS)

Quality of Service (QoS) merupakan satu set parameter yang menentukan level performansi suatu jaringan. Setiap organisasi bisa memiliki standar QoS yang berbeda. QoS perlu ditentukan sebagai referensi agar bisa diketahui bagaimana performansi jaringan yang dibuat. Ada 4 parameter QoS yang penting dalam perancangan jaringan: *coverage area*, level penerimaan, kualitas sinyal yang diterima, dan kapasitas. Keempat QoS yang ditetapkan dilihat dari kondisi antar *node* atau *link*, bukan antara *node* dengan *user*.

Parameter *coverage area* menunjukkan seberapa luas area yang harus *discover* oleh jaringan. Sebagian besar area *rural* terdiri atas lahan terbuka. Sehingga *coverage area* difokuskan di area pemukiman penduduk.

Parameter *received signal* menunjukkan seberapa kuat sinyal yang diterima oleh perangkat. Agar perangkat radio bisa saling berkomunikasi, ada batas minimum sinyal yang diperbolehkan. Jika sinyal yang diterima berada di bawah

nilai *threshold*, maka komunikasi tidak dapat terjadi. Pada perangkat, parameter ini disebut dengan *Rx sensitivity*. Sehingga *received signal* harus lebih besar dari *Rx sensitivity*. Pada jaringan *wireless mesh ad-hoc*, setiap *node* harus dapat terhubung secara langsung dengan *node* lain yang bersebelahan. Oleh karena itu *received signal* yang dihitung pada penelitian ini adalah *received signal* antar *node*.

Parameter yang menunjukkan kualitas penerimaan sinyal ditunjukkan oleh E_b/N_0 . Parameter ini menunjukkan perbandingan antara level sinyal dengan level *noise*. Berdasarkan [34] dan [35], layanan VoIP dapat dikatakan memiliki kualitas yang bagus jika nilai *Bit Error Rate* (BER) berada pada level minimal 10^{-6} . Dengan menggunakan persamaan 2.3, maka:

$$10^{-6} = Q(x)$$

Dengan menggunakan tabel fungsi Q, diketahui nilai x adalah 4.75.

Besarnya nilai E_b/N_0 sangat bergantung pada jenis modulasi yang digunakan. Pada perancangan ini, diasumsikan jenis modulasi adalah BPSK karena modulasinya yang paling tahan terhadap gangguan *noise*. Berdasarkan [23], persamaan untuk mencari nilai BER jika digunakan modulasi BPSK adalah:

$$BER = Q(\sqrt{2 E_b/N_0})$$

Dari tabel fungsi Q, diketahui x bernilai 4.75. Sehingga:

$$4.75 = \sqrt{2 E_b/N_0}$$

Dengan mengkuadratkan kedua sisi kemudian membagi dua nilai yang didapat, maka nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan adalah:

$$\frac{E_b}{N_0} = 11.28$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai E_b/N_0 yang dibutuhkan adalah 11.28. Hal yang perlu diperhatikan adalah nilai tersebut masih dalam bentuk numerikal. Sehingga perlu diubah ke dalam bentuk dB.

$$\frac{E_b}{N_0} = 10 \times \log_{10} (11.28)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 10.52 \text{ dB}$$

Maka dapat diambil kesimpulan bahwa QoS E_b/N_0 terpenuhi jika nilai E_b/N_0 melebihi 10.52 dB.

Parameter terakhir adalah kapasitas, yang terdiri atas kapasitas *server* dan kapasitas jaringan. Parameter kapasitas *server* menunjukkan seberapa banyak panggilan simultan yang dapat dilayani oleh *server*. Sedangkan parameter kapasitas jaringan menunjukkan besarnya kapasitas yang dapat disediakan oleh jaringan dengan memperhitungkan efek *multi-hop*.

3.3.6 Menentukan Komponen Jaringan

Untuk menentukan komponen yang akan digunakan dalam membangun jaringan, perlu dilakukan survey pasar terlebih dahulu. Dengan melakukan survey bisa diketahui perangkat apa saja yang dijual, spesifikasinya, dan kisaran harganya. Perlunya melakukan survey juga untuk menghindari berubahnya rancangan yang ditetapkan dikarenakan ketidaktersediaan perangkat yang spesifikasinya telah ditetapkan di rancangan atau harga perangkat yang ternyata melebihi estimasi biaya.

Ada lima komponen utama yang perlu diperhatikan dalam membangun jaringan *wireless* di area *rural*. Komponen tersebut adalah *wireless node*, antena, *tower*, *server*, dan *user terminal*.

3.3.6.1 Wireless Node

Wireless node yang dimaksud di sini adalah *wireless access point* atau *router*. Perangkat ini berfungsi sebagai titik sambung antara *user* dengan jaringan. Pemilihan perangkat *wireless* harus disesuaikan dengan konfigurasi jaringan yang diinginkan. Misalnya diinginkan frekuensi kerja pada 5 GHz untuk menghindari interferensi maka dipilih perangkat yang bekerja pada protokol 802.11 ac. Jika ingin membangun jaringan *mesh* maka diperlukan *wireless router* yang dapat bekerja dalam mode *ad-hoc*. Perangkat yang hanya dapat bekerja sebagai *access point* tidak dapat digunakan pada jaringan *mesh*. Karena pada jaringan *mesh* dibutuhkan perangkat yang memiliki kemampuan *routing* dan kemampuan tersebut tidak dimiliki oleh *access point*.

Dalam memilih perangkat *wireless*, beberapa parameter yang harus diperhatikan adalah:

- a) **Interoperabilitas:** parameter ini menunjukkan apakah perangkat dapat bekerja dengan perangkat yang berbeda manufakturernya. Namun jika memang dalam

rancangan jaringan perangkat yang digunakan semuanya merupakan produk dari merk yang sama, maka interoperabilitas tidak menjadi masalah.

- b) **Spesifikasi:** parameter ini menentukan apakah suatu perangkat akan bisa mengakomodasi layanan dan aplikasi yang dibutuhkan. Setiap perangkat dilengkapi dengan dokumen yang menjelaskan spesifikasi perangkat.
- c) **Area Jangkauan:** parameter ini diperlukan untuk bisa mengestimasi berapa perangkat radio yang diperlukan untuk bisa *cover* area dengan luas tertentu. Informasi ini biasanya dicantumkan dalam dokumen spesifikasi.
- d) **Sensitifitas:** parameter ini menunjukkan nilai minimum *Received signal Level* (RSL). Parameter ini dinyatakan dalam satuan – dBm (negatif dBm). Semakin sensitif suatu perangkat, maka semakin rendah level sinyal yang dapat diterima. Sensitifitas perangkat biasanya dicantumkan dalam dokumen spesifikasi. Parameter ini dibutuhkan dalam perhitungan *link budget* untuk menentukan berapa nilai minimum Rx level.
- e) **Throughput:** parameter ini menunjukkan kecepatan transfer data suatu perangkat. Informasi ini biasanya dicantumkan di dokumen spesifikasi. Saat hendak membeli perangkat dalam jumlah yang banyak, sebaiknya dilakukan *throughput testing* untuk mengevaluasi kinerja perangkat yang akan dibeli.
- f) **Ketersediaan:** hal ini sangat penting untuk dijadikan pertimbangan karena suatu perangkat pasti akan mengalami kerusakan di suatu waktu. Ketersediaan *sparepart* untuk pergantian komponen yang rusak atau perangkat lain dengan spesifikasi yang sama sangat perlu dipertimbangkan saat terjadi kerusakan.
- g) **Konsumsi daya:** ketersediaan energi listrik adalah salah satu permasalahan di area *rural*. Jika perangkat dicatu menggunakan *solar panel*, maka perangkat yang digunakan sebaiknya adalah perangkat yang mengkonsumsi daya listrik seminimal mungkin. Biaya pembelian *solar panel* bisa jadi lebih mahal dibanding perangkat radio itu sendiri. Konsumsi daya yang lebih rendah berakibat pada biaya operasional yang lebih rendah.
- h) **Lingkungan:** kondisi lingkungan menentukan pemilihan spesifikasi perangkat. Perangkat yang akan diletakkan pada area harus memiliki resistansi terhadap air dan perubahan cuaca karena akan terkena hujan, angin, dan panas matahari.

Sedangkan perangkat yang akan diletakkan di area *indoor* tidak perlu memiliki resistansi terhadap air.

- i) **Harga:** perangkat yang memiliki kualitas baik cenderung memiliki harga yang lebih tinggi. Oleh karena itu survey pasar sangat diperlukan agar bisa didapatkan perangkat yang spesifikasi sesuai dan kualitas yang baik dengan harga yang masuk akal.
- j) **Faktor lainnya:** perlu dipastikan bahwa perangkat yang akan digunakan memenuhi kebutuhan jaringan, contohnya apakah perangkat memiliki *Power Over Ethernet* (POE) sebagai sumber catuan, memiliki kemampuan enkripsi, *Network Address Translation* (NAT), *bandwidth monitoring tools*, dan kriteria lain yang sesuai dengan jaringan yang dirancang.

3.3.6.2 Antenna

Antenna memegang peranan yang sangat penting dalam jaringan *wireless* karena tanpa adanya antenna maka komunikasi tidak dapat dilakukan. Faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih antenna adalah:

a. *Gain*

Semakin besar *gain* antenna, maka semakin besar *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP) antenna. Hal tersebut berarti semakin besar pula area yang dapat *discover* oleh antenna tersebut. Hubungan EIRP dan *gain* antenna dinyatakan dengan persamaan berikut [22]:

$$EIRP = P_t \times G_t \quad (3.1)$$

Dimana:

P_t = *Transmit power antenna*

G_t = *Gain antenna*

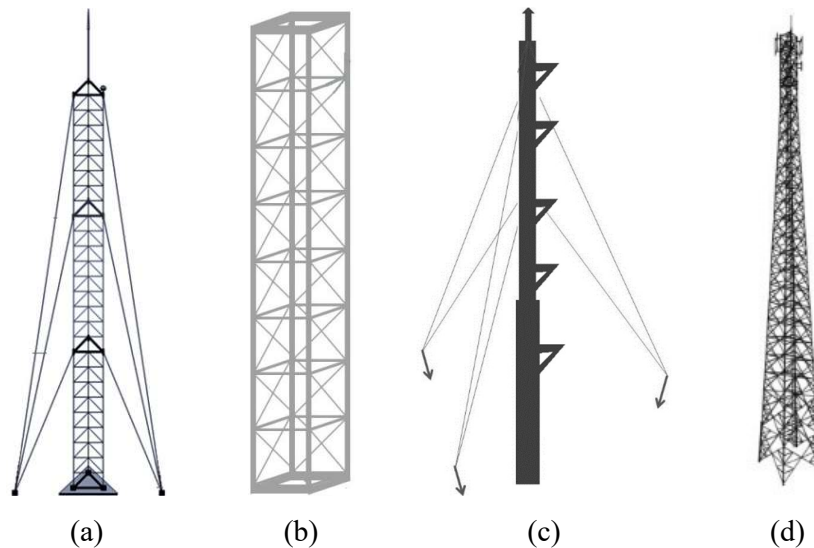
Besarnya *gain* antenna harus dicantumkan pada dokumen teknik yang menyertai perangkat saat pembelian.

b. *Pola Radiasi*

Pola radiasi menentukan kemana arah pancaran energi yang diradiasikan oleh antenna. Pola radiasi ini perlu diperhatikan saat memilih antenna yang akan digunakan. Jika *node* diletakkan di tengah area yang ingin *discover*, maka antenna yang digunakan adalah antenna *omnidirectional*. Sedangkan jika diinginkan pancaran antenna mengarah ke arah tertentu maka digunakan antenna *directional*.

3.3.6.3 Tower

Pada jaringan *wireless*, *tower* digunakan untuk meletakkan antenna. Pada beberapa model, antena dibuat menempel dengan perangkat radio. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi *loss* yang disebabkan oleh kabel penghubung antara antena dan perangkat radio. Oleh karena itu perangkat radio juga diletakkan di *tower*. Untuk instalasi *outdoor*, keberadaan *tower* sangat lah penting. Karena pada instalasi *outdoor*, antena tidak dapat ditempelkan ke dinding atau langit-langit bangunan seperti pada instalasi *indoor*. Ada beberapa jenis *tower* yang biasanya dipakai dalam telekomunikasi: *triangle*, *four angle*, *monopole*, dan *Self-Supporting Tower* (SST).



Gambar 3-5 (a) *Triangle Tower* (b) *Four Angle Tower* (c) *Monopole Tower* (d) *Self-Supporting Tower*

Perangkat *grounding* merupakan salah satu komponen yang sangat penting ketika membangun *tower*. *Tower* yang tinggi dapat tersambar petir sewaktu-waktu. *Grounding* berfungsi untuk melindungi perangkat yang diletakkan di *tower*.

3.3.6.4 Server

Setiap layanan yang diberikan oleh jaringan memerlukan sebuah *server* sebagai penyedia. *Server* berupa komputer yang terinstall aplikasi penyedia layanan. Contohnya untuk dapat menyediakan layanan VoIP maka *server* harus diinstall SIP *software* seperti Asterisk atau Kamailio. Sedangkan untuk layanan

website browsing diperlukan *server* yang berisi konfigurasi *gateway* ke jaringan internet atau *server proxy* yang berguna untuk mengatur keamanan di jaringan.

3.3.6.5 User Terminal

Preferensi perangkat yang digunakan oleh *user* perlu diperhatikan karena akan menentukan mobilitas *user*. Berdasarkan hasil survey pada [2], pengguna *smartphone* di Indonesia meningkat sebanyak 5% setiap tahunnya. Dengan tingginya pengguna *smartphone*, maka layanan akan difokuskan pada pengguna *smartphone*.

3.3.7 Menentukan Kapasitas Jaringan

Pada saat merancang jaringan, perlu ditentukan untuk berapa lama jaringan yang dibuat bekerja. Hal tersebut menyangkut jumlah *user* dan kapasitas yang dibutuhkan. Oleh karena itu tingkat pertumbuhan penduduk dan distribusi pemukiman penduduk perlu diperhitungkan untuk menentukan kapasitas dan luas jangkauan jaringan.

Untuk menghitung kapasitas maka cukup mengalikan jumlah *user* dengan *throughput* yang dibutuhkan *user*. Misalnya pada suatu daerah terdapat 100 *user* menggunakan aplikasi VoIP dengan *codec* G.711 alaw. Maka kapasitas yang dibutuhkan adalah 100 dikalikan dengan 64 Kbps. Sehingga jaringan harus memiliki kapasitas minimum sebesar 6.4 Mbps agar dapat mengakomodasi seluruh *user*.

Jika jaringan dirancang untuk bekerja selama beberapa tahun, maka perlu diperhitungkan pertumbuhan jumlah penduduk. Berdasarkan BPS, untuk menghitung perkiraan jumlah penduduk dapat digunakan persamaan berikut [36]:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (3.2)$$

Dimana: P_t = jumlah penduduk pada tahun t

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar

r = laju pertumbuhan penduduk

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t

3.3.8 Menentukan Posisi Node

Posisi *node* sangat lah penting karena menentukan area yang *discover*. Posisi *node* juga menentukan berapa *node* yang dibutuhkan untuk *cover* area dengan luas tertentu. Untuk instalasi *outdoor*, diperlukan *tower* sebagai tempat meletakkan

perangkat radio. Hal tersebut membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Oleh karena itu peletakkan *node* harus diperhitungkan dengan baik.

Untuk membantu penentuan posisi *node* dapat digunakan *tools* bantuan, seperti Radio Mobile. *Tools* ini merupakan sebuah *website* yang dapat diakses secara gratis dan menyediakan profil ketinggian permukaan tanah. *Tools* ini dapat mensimulasikan *coverage area* suatu *node* dengan memasukkan spesifikasi *node* seperti *transmit power*, sensitifitas, Tx *loss*, dan antenna *gain*. Gambar berikut ini menunjukkan hasil simulasi satu *node*. Hasil yang ditampilkan berupa daerah dengan warna hijau atau kuning yang menunjukkan kuat sinyal pada area tersebut. Dengan menggunakan *tools* ini, bisa disimulasikan berapa *node* yang dibutuhkan untuk mengcover area yang diinginkan.



Gambar 3-6 Hasil Simulasi 1 *Node*

3.3.9 Menghitung *Link Budget*

Agar dua perangkat radio dapat berkomunikasi, maka perangkat harus menerima sinyal yang levelnya berada di atas *threshold*. *Link budget* berguna untuk menghitung berapa *loss* total dalam sistem sehingga bisa ditentukan berapa besar daya pancar agar sinyal yang diterima di penerima berada di atas *threshold*. Sehingga komunikasi dapat terjadi. Beberapa parameter penting dalam perhitungan *link budget* adalah:

1. **Transmit Power (Tx Power):** parameter ini menunjukkan seberapa kuat daya yang dipancarkan oleh perangkat. Parameter ini dinyatakan dalam satuan miliwatt atau dBm. Perangkat dari produsen yang berbeda bisa memiliki Tx *power* yang beda. Informasi mengenai besarnya Tx *power* perangkat biasanya dicantumkan pada *data sheet* perangkat. Berdasarkan peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia nomor 28 tahun 2015 tentang Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi, setiap perangkat

wireless yang beroperasi pada frekuensi 2.4 dan 5 GHz dibatasi daya pancarnya maksimum sebesar 100 miliwatt atau 20 dBm [37].

2. **Gain Antena:** parameter menyatakan seberapa besar penguatan antena dan dinyatakan dalam dB. Parameter ini harus dicantumkan dalam *data sheet*.
3. **Minimum Received signal Level (RSL):** parameter ini menyatakan level minimum sinyal yang harus diterima perangkat. Jika sinyal yang diterima berada di bawah level ini maka komunikasi tidak dapat terjadi. Parameter ini dinyatakan dalam nilai negatif dBm (-dBm).
4. **Loss Kabel:** biasanya antara perangkat radio dan antena dihubungkan dengan kabel. Ketika sinyal melewati kabel, ada sebagian energi yang hilang. Besarnya *loss* kabel dinyatakan dalam dB.
5. **Free Space Loss (FSL):** parameter ini menunjukkan besarnya *loss* sinyal ketika melewati ruang bebas. *Loss* yang dihitung merupakan fungsi terhadap jarak dan frekuensi. Untuk menghitung besarnya FSL digunakan persamaan berikut ini [11]:

$$L_{fsl} = 30.24 + 20 * \log_{10}(D) + 20 * \log_{10}(f) \quad (3.3)$$

Dimana:

D = jarak (km) dan f = frekuensi (MHz)

Untuk menghitung *link budget*, maka jumlahkan *transmit power* dan *gain antenna*. Kemudian kurangi dengan total *loss* yang ada pada sistem. Jika dari hasil perhitungan level sinyal yang diterima berada di atas RSL, maka komunikasi antar perangkat radio dapat dilakukan.

Selain lima parameter di atas, kondisi lingkungan juga mempengaruhi perhitungan *link budget*. Kondisi lingkungan mempengaruhi besarnya *loss* yang dialami sinyal saat berpropagasi dari pengirim ke penerima. Banyak model atau persamaan matematika yang telah diteliti untuk dapat memberikan perhitungan *path loss* yang lebih akurat berdasarkan kondisi lingkungan, seperti model Longley Rice, model Durkin, Okumura-Hata, dan model Walfisch dan Bertoni [22].

Radio mobile menyediakan fitur untuk menghitung *path loss* menggunakan metode Longley Rice [38]. Parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan *link* adalah tinggi antena pemancar dan penerima, frekuensi, Tx *power*, *gain* antena, *loss* kabel, dan sensitivitas penerima.

3.3.10 Verifikasi Performansi

Tahap ini dilakukan untuk memastikan apakah jaringan yang dirancang sesuai dengan QoS yang ditentukan. Jika QoS tidak memenuhi standar, maka perlu dilakukan optimasi dengan mengubah posisi *node* atau mengganti komponen yang digunakan.

Pada verifikasi *coverage area*, dilakukan pengamatan hasil simulasi radio mobile. Jika dari hasil simulasi seluruh *coverage area* telah *tercover* oleh sinyal, maka parameter ini dianggap telah memenuhi QoS.

Untuk level penerimaan sinyal, dibandingkan hasil perhitungan *link budget* radio mobile dengan Rx *sensitivity* perangkat. Jika *received signal* lebih tinggi dari Rx *sensitivity*, maka dapat dikatakan bahwa QoS telah terpenuhi.

Untuk mengetahui nilai Eb/No, dilakukan perhitungan dari nilai *received signal*. Jika nilai Eb/No hasil perhitungan melebihi nilai Eb/No yang dibutuhkan, maka QoS parameter ini dapat dikatakan telah terpenuhi.

Untuk meverifikasi kapasitas *server*, dilakukan percobaan dengan cara membangkitkan panggilan sebanyak-banyaknya. Jika jumlah panggilan simultan yang *dihandle* oleh *server* lebih banyak dari jumlah target *user*, maka dapat dikatakan QoS ini terpenuhi. Sedangkan untuk verifikasi kapasitas jaringan, dilakukan perhitungan dengan memperhitungkan efek *multi-hop*.

3.3.11 Estimasi Biaya

Mengestimasi biaya adalah tahap akhir dalam perancangan jaringan. Biaya yang harus diperhitungkan adalah biaya pembelian komponen jaringan, biaya instalasi, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan.

Dalam memilih perangkat *wireless*, sebisa mungkin dipilih perangkat yang tidak mengkonsumsi daya terlalu besar. Karena dengan semakin kecilnya konsumsi daya, maka semakin kecil pula biaya operasional.

Untuk pemeliharaan perlu direncanakan kapan dilakukan pemeliharaan. Pemeliharaan dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan perangkat. Semakin jarang pemeliharaan dilakukan maka semakin kecil biaya pemeliharaan. Namun perlu diperhatikan juga bahwa semakin jarang dilakukan pemeliharaan maka semakin rentan pula perangkat mengalami kerusakan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

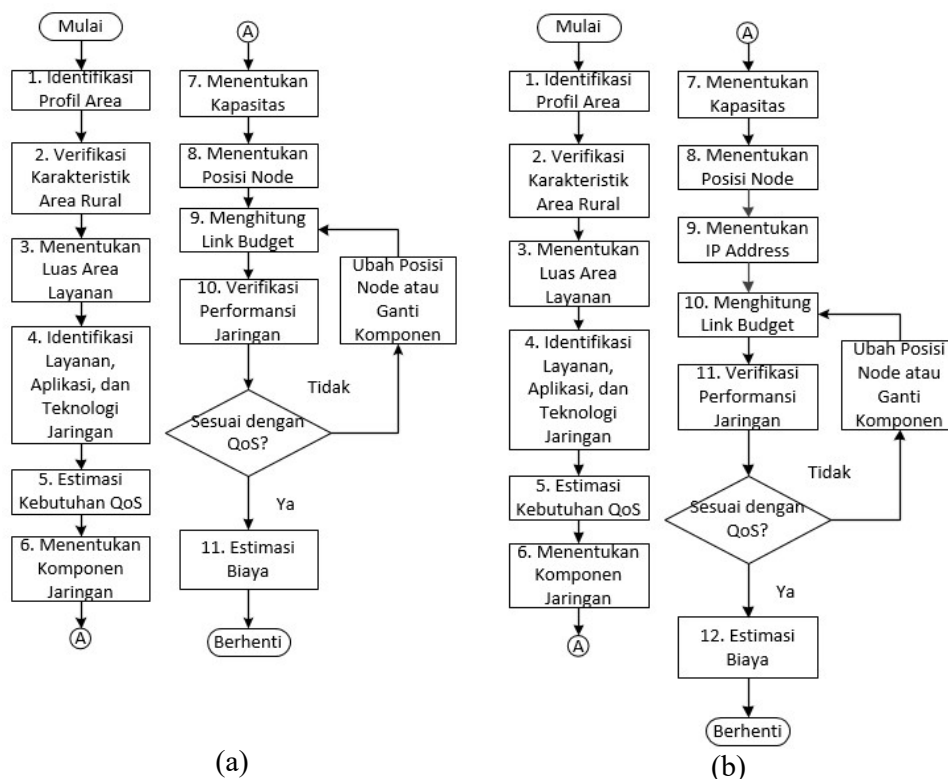
4.1 Metodologi Perancangan yang ditentukan

Berdasarkan hasil studi literatur, keberadaan *tower* di area *rural* memiliki peranan vital. Karena tidak seperti jaringan di area indoor dimana perangkat radio dan antena bisa diletakkan menempel pada dinding atau langit-langit, di area *rural tower* merupakan satu-satunya tempat meletakkan perangkat radio dan antena. Berdasarkan [8], letak *tower* menentukan panjang *link* radio. Sehingga tipe antena dan Tx *power* harus disesuaikan. Penelitian ini menjabarkan formulasi masalah untuk perancangan *link* radio di area *rural*. [9] memberikan metodologi perancangan untuk jaringan *wireless mesh* di area *rural*. Namun pada metodologi tersebut penentuan komponen dilakukan di bagian paling akhir. Padahal spesifikasi perangkat menentukan nilai parameter yang digunakan pada saat *link budget*. Selain itu juga tidak dipertimbangkan survey pasar untuk mengecek ketersediaan perangkat yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Jika perangkat yang sesuai dengan spesifikasi tidak tersedia, maka besar kemungkinan rancangan jaringan akan berubah sehingga perlu dilakukan proses perancangan ulang.

Pada jaringan *wireless mesh ad-hoc*, efek *multi-hop* tidak dapat dihindari. Karena informasi harus dilewatkan melalui beberapa hop terlebih dahulu sebelum sampai pada *node* yang dituju. Efek tersebut berpengaruh pada kapasitas yang dapat digunakan. Semakin banyak hop yang harus dilewati, maka semakin kecil kapasitas *link* yang dapat dipakai [15]. Selain kebutuhan untuk membawa informasi, informasi *routing* juga mengambil sebagian kapasitas *link*. Dengan mengimplementasikan *routing* proaktif, informasi mengenai *neighbor list* disimpan pada sebuah tabel *routing* yang disebar ke seluruh jaringan. Sehingga seluruh *node* di jaringan menyimpan informasi seluruh jalur *routing* sehingga jaringan dipenuhi dengan informasi yang sama. Dengan menggunakan prinsip yang digunakan oleh *routing* proaktif, *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* dapat membagi informasi mengenai jalur *routing* dengan membuat setiap *node* hanya perlu menyimpan informasi *node* mana yang merupakan *best next hop*nya [7]. Sehingga *node* tidak perlu mengetahui topologi jaringan secara keseluruhan. Penentuan *neighbor* dilakukan dengan mendeteksi sequence number dan *link quality*. *Neighbor node*

diurutkan berdasarkan *sequence number* terkecil dan *link quality* terbaik. Dengan kemampuannya membagi informasi *routing* tersebut, maka data yang *broadcast* ke jaringan menjadi lebih sedikit sehingga tidak menghabiskan banyak kapasitas yang sudah berkurang karena efek *multi-hop*. Untuk membuktikan hal ini, dilakukan percobaan dan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

B.A.T.M.A.N *Advanced* bekerja pada *layer datalink*. Sehingga identitas *neighbor* yang dideteksi adalah MAC Address, bukan IP address seperti *routing* lain. Dengan demikian IP address *planning* tidak dibutuhkan pada jaringan yang mengimplementasikan *routing* ini. Pada metodologi perancangan yang digunakan pada penelitian ini, jika tidak digunakan *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* maka diperlukan proses IP address *planning* setelah proses penentuan *node*. Karena setelah dilakukan simulasi, jumlah *node* yang dibutuhkan untuk *cover* area diketahui. Setelah itu ditentukan IP address untuk setiap *node*. Karena pada penelitian ini digunakan B.A.T.M.A.N *Advanced* sebagai *routing* protokol, maka tahap IP *planning* tidak dibutuhkan. Gambar berikut ini menunjukkan perbedaan metodologi perancangan dengan dan tanpa implementasi B.A.T.M.A.N *Advanced*.



Gambar 4-1 Metodologi Perancangan (a) Dengan B.A.T.M.A.N *Advanced* (b) Tanpa B.A.T.M.A.N *Advanced*

4.2 Implementasi Metodologi Perancangan di Area

Seperti telah disebutkan pada 3.3.1. area yang akan dirancang jaringannya adalah Pulau Sebir dan Desa Ngadas. Dengan menggunakan metodologi perancangan yang ditentukan, berikut ini adalah hasil perancangan untuk kedua area tersebut.

4.2.1 Hasil Identifikasi Profil Area

Berdasarkan data yang didapat dari hasil survey BPS [25] dan Google Earth, berikut ini adalah profil area Pulau Sebir.

Tabel 4-1 Profil Area Pulau Sebir

Jumlah Penduduk	523 jiwa
Luas Wilayah	0.0882 km ²
Luas Pemukiman Penduduk	0.059 km ²
Lahan Pertanian/Perkebunan	0 km ²
Laju Pertumbuhan Penduduk	1.43 %
Persentase Penduduk Usia Produktif	69.76 %
Fasilitas Umum	- Sekolah Satu Atap - Dermaga
Ketinggian Tanah	3-9 mdpl

Sedangkan berikut ini adalah profil area Desa Ngadas yang diambil dari data BPS [39] dan Google Earth.

Tabel 4-2 Profil Area Desa Ngadas

Jumlah Penduduk	1672 jiwa
Luas Wilayah	4.14 km ²
Luas Pemukiman Penduduk	0.6 km ²
Lahan Pertanian/Perkebunan	3.54 km ²
Laju Pertumbuhan Penduduk	0.38 %
Persentase Penduduk Usia Produktif	67.86 %
Fasilitas Umum	- SD, SMP, SMA - Kantor Kepala Desa
Ketinggian Tanah	1809-2151 mdpl

4.2.2 Verifikasi Karakteristik Area *Rural*

Setelah profil area diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi karakteristik area, apakah termasuk area *rural* atau tidak. Pada tabel 3.1. telah disebutkan parameter yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan karakteristik apakah suatu area termasuk area *rural* atau tidak. Data statistik Pulau Sebir [25] dan Desa Ngadas [39] yang didapatkan dari *website* BPS digunakan sebagai acuan untuk menentukan skor setiap variabel. Tabel di bawah ini merangkum skor untuk setiap variabel klasifikasi.

Tabel 4-3 Hasil Verifikasi Karakteristik Area Pulau Sebira dan Desa Ngadas

Variabel / Klasifikasi	Skor		
	Rentang	Pulau Sebira	Desa Ngadas
1. Kepadatan Penduduk Per Km ²	1-8	1	1
2. Persentase Rumah Tangga Pertanian	1-8	8	1
3. Akses Fasilitas Umum			
A) Sekolah Taman Kanak-Kanak	0-1	0	0
B) Sekolah Menengah Pertama	0-1	1	1
C) Sekolah Menengah Umum	0-1	0	1
D) Pasar	0-1	0	0
E) Pertokoan	0-1	0	0
F) Bioskop	0-1	0	0
G) Rumah Sakit	0-1	0	0
H) Hotel / Bilyar / Diskotek / Panti Pijat / Salon	0-1	0	1
I) Persentase Rumah Tangga Telepon	0-1	0	0
J) Persentase Rumah Tangga Listrik	0-1	0	1
Total Skor		10	6

Dari total skor, untuk Desa Ngadas didapatkan nilai sebesar 6 sedangkan Pulau Sebira memiliki nilai 10. Berdasarkan ketentuan dari BPS, suatu area dapat dikatakan area *rural* jika memiliki nilai kurang dari 10 [32]. Total skor Desa Ngadas memenuhi syarat untuk disebut sebagai area *rural*. Sedangkan total skor Pulau Sebira melampaui nilai maksimal untuk dikatakan sebagai area *rural*. Dilihat dari skor setiap variabel, presentase rumah tangga pertanian memberikan kontribusi nilai paling tinggi, yaitu 8. Hal tersebut sebenarnya wajar karena Sebira merupakan area pulau yang tidak cocok untuk dijadikan lahan pertanian. Oleh karena itu hampir semua penduduknya memiliki mata pencaharian sebagai nelayan dan tidak ada lahan pertanian di Pulau Sebira. Ketiadaan lahan pertanian tersebut membuat total skor Pulau Sebira melonjak tinggi. Padahal kepadatan penduduk dan akses fasilitas umum memiliki nilai yang sangat rendah. Oleh karena itu, variabel rumah tangga pertanian pada Pulau Sebira dihilangkan karena tidak relevan dengan kondisi mata pencaharian penduduk. Dengan menghilangkan variabel rumah tangga pertanian, maka total skor Pulau Sebira menjadi kurang dari 10 dan memenuhi kategori area *rural*.

4.2.3 Luas Jangkauan Area

Area yang dilayani akan dioptimalkan di area pemukiman penduduk. Berdasarkan data dari BPS, [25] dan [39], berikut ini adalah luas pemukiman penduduk Pulau Sebira dan Desa Ngadas.

Tabel 4-4 Luas Pemukiman Penduduk

Luas Pemukiman Penduduk (km ²)	Pulau Sebira	Desa Ngadas
	0.0059	0.6

Untuk merancang jaringan, mengetahui luas area saja tidak cukup. Data *visual* juga diperlukan untuk mengetahui seperti apa area yang akan *discover*. Dengan menggunakan Google Earth, berikut ini adalah area yang perlu *discover* untuk Pulau Sebira dan Desa Ngadas.



Gambar 4-2 Coverage area Pulau Sebira

Pemukiman penduduk di Pulau Sebira tersebar di sebelah selatan dan tenggara pulau yang dekat dengan dermaga serta area tengah pulau. Area pemukiman tersebut menjadi area prioritas untuk *discover* oleh jaringan.



Gambar 4-3 Coverage area Desa Ngadas

Berbeda dengan Pulau Sebir, pemukiman penduduk di Desa Ngadas terbagi di tiga wilayah: barat, tengah, dan timur. Area yang dilingkupi garis merah adalah pemukiman penduduk. Berdasarkan data BPS, 85% area Desa Ngadas digunakan sebagai lahan pertanian. Oleh karena itu hanya 15% dari seluruh area Desa Ngadas yang perlu *discover* oleh jaringan.

4.2.4 Komponen Aplikasi VoIP

Untuk dapat menyediakan layanan VoIP, *SIP server software* diperlukan. Dengan menggunakan *software* ini, *network administrator* dapat mengatur jumlah *user* dan *priviledgenya*. Selain *SIP server software*, pemilihan *audio codec* juga perlu diperhatikan karena setiap *codec* memerlukan *bandwidth* yang berbeda. Pemilihan *audio codec* ini nantinya akan menentukan berapa total kapasitas yang dibutuhkan oleh jaringan.

4.2.4.1 SIP Server Software

Pada tahap ini ditentukan *software* yang akan digunakan sebagai *SIP server*. Terdapat beberapa *software* yang berfungsi sebagai *SIP server*, seperti Asterisk, Kamailio, FreePBX, dan lainnya. Untuk menentukan *software* apa yang akan digunakan sebagai *server*, dilakukan eksperimen untuk membandingkan *software* mana yang memiliki performansi lebih baik. *Software* yang digunakan pada eksperimen adalah Asterisk dan Kamailio. Dua *software* ini merupakan *software open source* sehingga pengembangannya dapat dilakukan secara bebas tanpa perlu memiliki lisensi.

Eksperimen dilakukan menggunakan satu komputer *server* serta satu *handphone* dan satu laptop yang berfungsi sebagai *client*. Kamailio dan Asterisk diinstall pada komputer *server*. Pada kedua *client*, diinstall *softphone* yang berfungsi sebagai *user interface*. Wireshark diinstall di laptop untuk merekam aktivitas yang terjadi di jaringan selama eksperimen berlangsung. Setelah semua *software* yang diperlukan terinstall, seluruh perangkat dihubungkan dalam mode *ad-hoc*. Berikut ini adalah alamat IP perangkat yang digunakan pada eksperimen:

Tabel 4-5 Alamat IP Perangkat Eksperimen Asterisk

Device	IP untuk Asterisk	IP untuk Kamailio
<i>Server</i>	192.168.1.190	192.168.1.1
<i>Client 1</i>	192.168.1.183	192.168.1.12
<i>Client 2</i>	192.168.1.131	192.168.1.6

Eksperimen dilakukan dengan cara *user* melakukan percakapan selama dua menit. Selama percakapan berlangsung, wireshark merecord aktivitas jaringan. Percobaan dilakukan beberapa kali agar bisa didapatkan hasil yang valid.

Dari hasil *recording* Wireshark, baik Asterisk maupun Kamailio menggunakan protokol SIP saat menginisiasi panggilan. *Client* 1 mengirimkan *request* INVITE ke *server*. *Server* kemudian mengirimkan status Trying yang menandakan bahwa *request* INVITE telah dikirimkan ke *Client* 2. Selanjutnya *server* mengirimkan status Ringing yang menandakan bahwa *request* telah sampai pada *Client* 2 dan sedang menunggu jawaban. Setelah *Client* 2 menjawab panggilan, *server* mengirimkan status OK. Selanjutnya ACK dikirimkan oleh *server* yang menandakan bahwa *session* telah berhasil dibangun dan komunikasi dari *Client* 1 ke *Client* 2 bisa dilakukan. Kemudian saat ingin mengakhiri *session*, *Client* 1 mengirimkan *request* BYE ke *server*. *Server* kemudian mengirimkan status OK yang berarti *session* telah berhasil diakhiri.

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
0.000000	192.168.1.183	192.168.1.190	SIP/SDP	815	Request: INVITE sip:101@192.168.1.190
0.010581	192.168.1.190	192.168.1.183	SIP	417	Status: 100 trying -- your call is important to us
1.054793	192.168.1.190	192.168.1.183	SIP	587	Status: 180 Ringing
3.616889	192.168.1.190	192.168.1.183	SIP/SDP	858	Status: 200 OK
3.838539	192.168.1.183	192.168.1.190	SIP	511	Request: ACK sip:101@192.168.1.203:38093
127.692169	192.168.1.183	192.168.1.190	SIP	511	Request: BYE sip:101@192.168.1.203:38093
127.799087	192.168.1.190	192.168.1.183	SIP	422	Status: 200 OK

(a)

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
0.000000000	192.168.1.12	192.168.1.1	SIP/SDP	703	Request: INVITE sip:101@192.168.1.1
0.005053320	192.168.1.1	192.168.1.12	SIP	360	Status: 100 trying -- your call is important to us
0.433764974	192.168.1.1	192.168.1.12	SIP	392	Status: 180 Ringing
4.262086360	192.168.1.1	192.168.1.12	SIP/SDP	723	Status: 200 OK
4.282443729	192.168.1.12	192.168.1.1	SIP	357	Request: ACK sip:101@192.168.1.6
128.472676897	192.168.1.1	192.168.1.12	SIP	438	Request: BYE sip:100@192.168.1.12
128.473672251	192.168.1.12	192.168.1.1	SIP	392	Status: 200 OK

(b)

Gambar 4-4 SIP Call Flow (a) Asterisk (b) Kamailio

Saat koneksi telah berhasil dibangun, *client* melakukan komunikasi tidak lagi menggunakan protokol SIP, namun protokol RTP. Hal ini sesuai dengan teori yang dipaparkan pada dasar teori 2.2.3. Hal yang menarik dari hasil eksperimen ini adalah perbedaan cara Asterisk dan Kamailio dalam *menghandle client*. Pada Asterisk, komunikasi antar *client* harus melewati *server* terlebih dahulu. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4-4 (a), *Client* pertama 192.168.1.183 terhubung ke *server* 192.168.1.190. Kemudian *server* 192.168.1.190 terhubung ke *client* kedua 192.168.131.

Time	Source	Destination	Protocol
16.702606	192.168.1.183	192.168.1.190	RTP
16.703018	192.168.1.183	192.168.1.190	RTP
16.703130	192.168.1.183	192.168.1.190	RTP
16.703182	192.168.1.183	192.168.1.190	RTP
16.703236	192.168.1.183	192.168.1.190	RTP

(a)

Time	Source	Destination	Protocol
16.634542	192.168.1.131	192.168.1.190	RTP
16.879278	192.168.1.190	192.168.1.131	RTP
16.879284	192.168.1.190	192.168.1.131	RTP
16.879286	192.168.1.190	192.168.1.131	RTP
16.879287	192.168.1.190	192.168.1.131	RTP

(b)

Gambar 4-5 (a) *Session Client 1 ke Server* via Asterisk (b) *Session Server ke Client 2 via Asterisk*

Berbeda dengan Asterisk, pada Kamailio, seperti dapat dilihat pada gambar 4-5, *client* pertama 192.168.1.12 terhubung langsung dengan *client* kedua 192.168.1.6. dan sebaliknya.

Time	Source	Destination	Protocol
4.296830719	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP
4.305010349	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP
4.322228905	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP
4.330431374	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP
4.339563124	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP
4.347774463	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP
4.358266785	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP
4.374534687	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP
4.378602851	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP
4.386780106	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP

Gambar 4-6 *Session Client1 dan Client2*

Dari hasil eksperimen, diketahui terdapat perbedaan cara kerja pada Asterisk dan Kamailio. Asterisk *handle* komunikasi *client* sejak inisiasi panggilan, panggilan berlangsung, hingga panggilan berakhir. Sedangkan Kamailio hanya *handle* *client* saat panggilan akan dimulai dan diakhiri. Selama percakapan berlangsung, *client* terhubung secara *point to point* tanpa melalui *server*. Dari hasil eksperimen tersebut dapat disimpulkan bahwa prinsip kerja Kamailio tidak terlalu membebani *server*. Karena *server* hanya melayani proses inisiasi dan terminasi panggilan. Dengan mempertimbangkan hasil eksperimen tersebut, Kamailio digunakan sebagai SIP *server software* pada perancangan ini.

4.2.4.2 Audio codec

Dalam komunikasi suara digital, *audio codec* diperlukan untuk mengkodekan sinyal suara menjadi sinyal digital. Setiap *codec* mengkonsumsi bit yang berbeda. Hal tersebut disebabkan perbedaan metode pengkodeannya. Oleh karena itu pemilihan *audio codec* sangat krusial karena menentukan kapasitas yang

dibutuhkan oleh jaringan. Secara teori G.711 Alaw dan Ulaw dikodekan sebanyak 64 Kbps [40] dan GSM sebanyak 13.2 Kbps [41].

Pada pembahasan ini dilakukan eksperimen untuk mengetahui berapa banyak bit yang dikonsumsi oleh beberapa *codec* yang berbeda. Eksperimen dilakukan menggunakan satu *server* yang telah terinstall Kamilio dan dua buah *client* yang terinstall softphone sebagai *user interface* untuk melakukan panggilan. Pada salah satu *client* diinstall wireshark yang berfungsi melakukan *recording* saat panggilan terjadi. Eksperimen dilakukan sebanyak sepuluh kali dengan durasi panggilan selama dua menit. *Codec* yang digunakan adalah G.711 Alaw, Ulaw, dan GSM.

Dari hasil *recording* Wireshark, G.711 Alaw dikodekan menjadi paket yang berisi 214 byte atau 1712 bit.

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
26.078482	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.079704	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.100024	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.101720	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.119894	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.121050	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.141213	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.161423	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.161596	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,
26.166689	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA,

Gambar 4-7 Media Session G.711 Alaw

Hasil yang serupa didapatkan dari *codec* G.711 Ulaw. Data dikodekan dalam bentuk paket-paket yang memiliki panjang 214 byte atau 1712 bit.

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
3.904211	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.911619	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.923715	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.936388	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.938892	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.943452	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.960699	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.963186	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.986377	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
3.990673	192.168.1.203	192.168.1.183	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,
4.005375	192.168.1.183	192.168.1.203	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMU,

Gambar 4-8 Media Session G.711 Ulaw

Sedangkan untuk *codec* GSM, setiap paket dikodekan dengan panjang 87 byte atau 696 bit.

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
8.384846201	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.401490566	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.404809786	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.421109329	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.424498673	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.440958718	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.443679721	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.460336099	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.460401892	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.476951408	192.168.1.12	192.168.1.6	RTP	87	PT=GSM 06.10,
8.477592022	192.168.1.6	192.168.1.12	RTP	87	PT=GSM 06.10,

Gambar 4-9 Media Session GSM

Tabel berikut ini merangkum jumlah bit maximum, minimum, dan rata-rata setiap *codec*.

Tabel 4-6 Jumlah Bit per Second *Audio codec*

Call	G.711 Alaw (Kbps)			G.711 Ulaw (Kbps)			GSM (Kbps)		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
1	93.304	77.896	85.6	117.272	46.224	85.6	36.54	33.408	34.8
2	91.592	77.896	85.6	94.16	3.424	85.6	45.936	23.316	34.8
3	87.312	83.888	85.6	287.616	8.56	85.6	38.628	30.972	34.8
4	90.736	78.752	85.6	191.744	13.696	85.6	36.192	33.408	34.8
5	87.312	82.176	85.6	87.312	83.888	85.6	35.496	33.408	34.8
6	89.024	82.176	85.6	306.448	20.544	85.6	84.564	17.4	34.8
7	106.144	71.904	85.6	89.024	77.04	85.6	109.272	17.4	34.8
8	229.408	18.832	85.6	164.352	42.8	85.6	36.888	24.36	34.8
9	89.88	81.32	85.6	93.304	42.8	85.6	38.28	32.364	34.8
10	89.88	81.32	85.6	219.136	51.36	85.6	50.46	19.488	34.8

Dari hasil eksperimen, *codec* G.711 Alaw dan Ulaw rata-rata mengkonsumsi bit sebanyak 85.6 Kbps sedangkan *codec* GSM rata-rata mengkonsumsi bit sebanyak 34.8 Kbps. Secara teori maupun eksperimen, *codec* GSM mengkonsumsi bit lebih sedikit dibandingkan G.711 Alaw ataupun Ulaw. Karena jumlah bit yang digunakan lebih sedikit, GSM digunakan sebagai *audio codec* pada perancangan ini. Selanjutnya jumlah bit hasil eksperimen akan digunakan sebagai referensi untuk menghitung kebutuhan *bandwidth user* pada perhitungan kapasitas jaringan.

4.2.5 Teknologi Jaringan

Teknologi jaringan yang digunakan pada perancangan ini adalah *wireless mesh ad-hoc*. Perangkat *wireless* yang digunakan sebagai *node* adalah *wireless router* yang bekerja berdasarkan standar 802.11. Perangkat tersebut dapat bekerja di dua *band* frekuensi *unlicensed*, 2.4 dan 5 GHz. Menurut Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika nomor 28 tahun 2015, peralatan yang memberikan layanan Wi-Fi harus mengikuti ketentuan seperti yang disebutkan pada tabel di bawah ini [37].

Tabel 4-7 Spesifikasi Teknis Peralatan 2.4 dan 5.8 GHz [37]

	2.4 GHz	5.8 GHz
Rentang Frekuensi	2.4 – 2.483 GHz	5.75 - 5.825 GHz
Rentang <i>Carrier</i>	2.412 – 2.472 GHz	5.745 – 5.805
BER	10^{-8}	10^{-8}
Sensitifitas Penerima	$\leq - 58$ dBm	$\leq - 58$ dBm
<i>Maximum Output power</i>	100 mW (20 dBm)	100 mW (20 dBm)
Jumlah <i>Channel</i>	13 (1-13)	13 (149-161)

4.2.5.1 Pemilihan Frekuensi Kerja

Secara umum, spesifikasi perangkat untuk frekuensi 2.4 dan 5.8 GHz tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Maka hal yang perlu diperhatikan adalah pemilihan frekuensi yang digunakan. Untuk menentukan frekuensi mana yang lebih baik untuk digunakan di area luas, digunakan model *free-space path loss* sebagai referensi [22].

$$FSL (dB) = 32.4 + (20 \times \log_{10} D) + (20 \times \log_{10} f) \quad (4.1)$$

Dimana : FSL = nilai *free space loss* (dB)

D = jarak dari antenna pengirim ke penerima (m)

f = frekuensi kerja (MHz)

Dengan mengasumsikan jarak antara antenna pengirim dan penerima sejauh 1 m, maka nilai FSL yang terhitung sebesar:

$$FSL_{2.4\text{ GHz}} = 32.4 + 20 \times \log_{10}(1) + 20 \times \log_{10}(2400) = 100\text{ dB}$$

$$FSL_{5.8\text{ GHz}} = 32.4 + 20 \times \log_{10}(1) + 20 \times \log_{10}(5800) = 107.66\text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan terdapat selisih *loss* sebesar 7.66 dB. Hal ini berarti untuk jarak yang sama, penggunaan frekuensi 5.8 GHz mengalami *loss* 7.66 dB lebih besar dibandingkan dengan penggunaan frekuensi 2.4 GHz. Semakin tinggi frekuensi, untuk jarak yang sama maka *loss*nya juga semakin tinggi. Sehingga dapat diambil kesimpulan dengan menggunakan frekuensi yang lebih rendah, dalam kasus ini adalah 2.4 GHz, maka jarak antenna pengirim dan penerima bisa semakin jauh. Dengan kata lain, semakin luas pula area yang dapat *discover*.

4.2.5.2 Routing Protocol

Pada jaringan *wireless mesh*, protokol *routing* memegang peranan yang sangat vital demi terkirimnya informasi dari pengirim ke penerima. Kelebihan *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* dibandingkan dengan *routing* proaktif lainnya adalah prinsip kerjanya yang melakukan *routing* pada *layer* 2. Sehingga yang dideteksi sebagai *neighbor* adalah *MAC address* perangkat [7].

Untuk membuktikan hal tersebut, dilakukan percobaan menggunakan tiga buah *router* yang diinstall *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced*. *Router* yang digunakan adalah TP-Link MR3020 yang compatible dengan OpenWrt dan *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced*. Setiap *router* diset menggunakan IP yang sama: 192.168.1.1. Setelah itu dilakukan pengecekan *neighbours* yang terdeteksi

menggunakan *command* `batctl o`. Gambar berikut ini menunjukkan hasil pengecekan *neighbours* yang terdeteksi.

```
root@MANET01:/# batctl o
[B.A.T.M.A.N adv 2016.1, ManIF/MAC: adhoc0/18:d6:c7:2a:1e:c0 (bat0 BATMAN_IV) ]
Originator    Last-seen (#/255)    Nexthop [outgoingIF]:    Potential nexthops ...
18:d6:c7:f2:ed:62    0.850s (251)        18:d6:c7:f2:ed:62 [adhoc0]:
18:d6:c7:f2:ed:62    (251)
18:d6:c7:91:c3:71    0.871s (252)        18:d6:c7:91:c3:71 [adhoc0]:
18:d6:c7:91:c3:71    (252)
```

Gambar 4-10 Detected *Neighbors Routing* B.A.T.M.A.N *Advanced*

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa identitas *neighbours* yang terdeteksi adalah MAC *address* perangkat. Sehingga dapat diambil kesimpulan: dengan menggunakan *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced*, perangkat dapat menggunakan IP *address* yang sama. Dengan prinsip kerja tersebut, perencanaan IP *address* pada jaringan tidak perlu dilakukan sehingga tahap pekerjaan yang dilakukan menjadi lebih sederhana.

Sebagai perbandingan, dilakukan eksperimen menggunakan *routing* OLSR. Prosedur yang dilakukan mirip dengan yang dilakukan saat eksperimen *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced*. Perbedaannya adalah IP *address* setiap *router* diset berbeda.

```
*** olsr.org - 0.6.6.2-git_0000000-hash_04a4e07cdf2ea2b2a2237f694e6facd8
(2014-09-11 13:15:03 on kishi15) ***

--- 16:02:03.365255 ----- LINKS

IP address      hyst      LQ      ETX
192.168.1.1     0.000    1.000/1.000    1.000
192.168.1.12    0.000    1.000/1.000    1.000
```

Gambar 4-11 Detected *Neighbors Routing* OLSR

Dari hasil deteksi *neighbors*, didapatkan bahwa identitas *neighbors* yang terdeteksi adalah IP *address*nya. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa jika OLSR diimplementasikan pada jaringan, perlu dilakukan IP *address planning* untuk menghindari terjadinya IP *conflict* saat jaringan dibangun.

Selain dilakukan eksperimen untuk mengetahui identitas *neighbors* yang terdeteksi, dilakukan juga pengukuran jumlah bit yang *broadcast routing protocol*. Konfigurasi eksperimen ini sama dengan eksperimen deteksi *neighbor* sebelumnya. Pengamatan dilakukan selama 120 detik. Jumlah bit didapatkan dari ekstraksi hasil *recording* Wireshark. Grafik di bawah ini menunjukkan hasil pengamatan.



Gambar 4-12 Perbandingan Jumlah Bit *Routing*

Dari hasil pengamatan, jumlah bit OLSR berfluktuasi dari 4032 hingga 10624 bit per detik. Sedangkan jumlah bit B.A.T.M.A.N *Advanced* berfluktuasi antara 0 hingga 2016 bit per detik. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa OLSR *me-broadcast* bit jauh lebih banyak dibandingkan dengan B.A.T.M.A.N *Advanced*. Jumlah bit yang *dibroadcast* oleh B.A.T.M.A.N *Advanced* lebih sedikit karena B.A.T.M.A.N *Advanced* hanya *me-broadcast* informasi mengenai *neighbor list* terdekatnya saja. Hal tersebut mengindikasikan jika diimplementasikan pada jaringan, *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* lebih efisien karena tidak *me-broadcast* informasi *routing* ke jaringan sebesar OLSR.

4.2.6 Pemilihan Komponen Jaringan

Ada 4 komponen utama yang diperlukan pada perancangan ini: *wireless router*, *server*, *tower*, dan *user terminal*.

4.2.6.1 Wireless router



Pada area *rural*, *wireless node* kemungkinan besar akan diletakkan di area *outdoor* karena area yang akan *discover* adalah pemukiman penduduk. *Wireless node* yang digunakan pada perancangan ini adalah perangkat yang memiliki kemampuan *routing*. Hal itu karena setiap *node* pada jaringan *wireless mesh ad-hoc* harus dapat menentukan jalur pengiriman informasi secara mandiri. Kemampuan tersebut tidak dimiliki oleh perangkat *access point*. Berdasarkan pembahasan pada point 4.2.5.1. frekuensi kerja yang digunakan adalah 2.4 GHz. Sehingga *wireless node* yang diperlukan adalah *wireless router* yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz. Namun tidak semua *wireless router* dapat bekerja menggunakan *routing*

B.A.T.M.A.N *Advanced*. Hanya perangkat yang *compatible* dengan OpenWrt yang dapat bekerja menggunakan *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced*. Oleh karena itu dapat disimpulkan kriteria *wireless router* yang dibutuhkan pada perancangan ini adalah:

1. Cocok untuk penggunaan *outdoor*
2. Bekerja pada frekuensi 2.4 GHz
3. *Compatible* dengan OpenWrt

Untuk mengecek perangkat apa saja yang *compatible* dengan OpenWrt dapat dilihat pada *link*: <https://openwrt.org/toh/start>. Setelah itu dengan melakukan survey perangkat yang ada di pasaran untuk mencari *wireless router outdoor* yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz, ditemukan tiga *router* yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Keempat *router* tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4-8 Spesifikasi *Wireless router* yang *Compatible*

Ubiquiti Loco M2		
<i>Power Supply</i>	24V/0,5A	
<i>Power Consumption</i>	5,5 Watts	
<i>Tx Power</i>	23 dBm	
<i>Gain</i>	8,5 dBi	
<i>Sensitivity max</i>	- 96 dBm	
<i>Compatibility</i>	802.11 b/g/n	
Harga	> 600rb	
Ubiquiti Pico Station M2		
<i>Power Supply</i>	15V/0,8A	
<i>Power Consumption</i>	8 W	
<i>Tx Power</i>	28 dBm	
<i>Gain</i>	5 dBi	
<i>Sensitivity max</i>	- 96 dBm	
<i>Compatibility</i>	802.11 b/g/n	
Harga	> 1,1 jt	
Ubiquiti Airgrid M2		
<i>Power Supply</i>	24V/0,5A	
<i>Power Consumption</i>	3 W	
<i>Tx Power</i>	28 dBm	
<i>Gain</i>	16 dBi	
<i>Sensitivity max</i>	- 96 dBm	
<i>Compatibility</i>	802.11 b/g/n	
Harga	> 750rb	

Dari ketiga *router* yang cocok, tidak semua *router* akan digunakan pada perancangan. Spesifikasi dari empat *router* tersebut akan digunakan sebagai referensi pada simulasi dan perhitungan *link budget*.

4.2.6.2 Server

Untuk dapat menjalankan aplikasi VoIP dibutuhkan PC *server*. Pada area *rural*, konsumsi daya merupakan salah satu faktor yang sangat penting. PC *server* biasa bisa mengkonsumsi daya hingga 200 watt. Untuk daerah *rural* seperti Pulau Sebir yang pasokan listriknya tidak stabil, konsumsi daya PC penting diperhatikan karena belum ada pasokan listrik dari PLN. Selain itu, dengan menggunakan *server* yang konsumsi dayanya rendah maka *budget* untuk biaya operasional pun dapat berkurang.

Pada perancangan ini digunakan Raspberry Pi sebagai *server*. Keunggulan utama Raspberry Pi dibandingkan dengan PC *server* konvensional adalah konsumsi dayanya yang sangat rendah, hanya 3.7 watt [42]. Berikut ini adalah spesifikasi teknisnya.

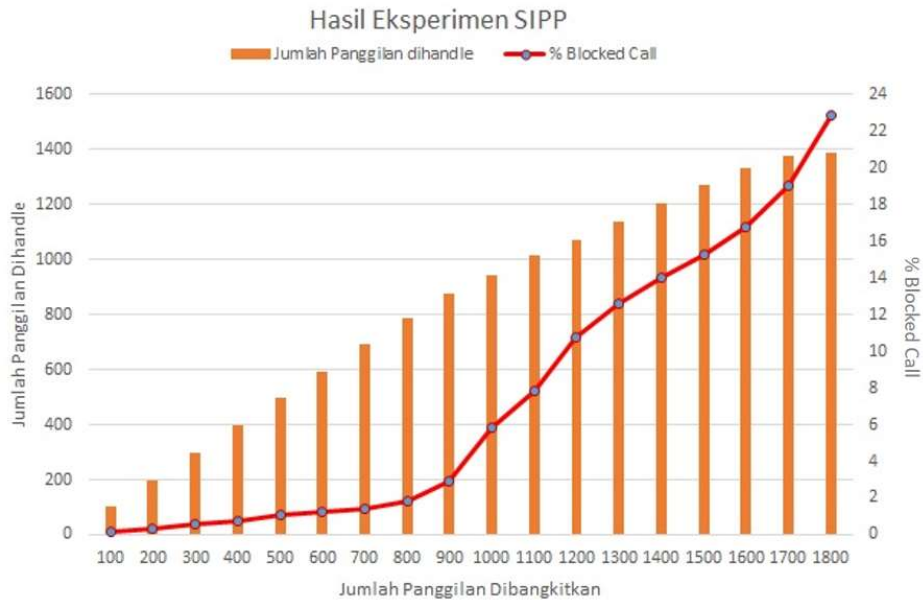
Tabel 4-9 Spesifikasi Raspberry Pi [42]

Tipe	Raspberry Pi 3 Model B
Processor	Quad-Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
RAM	1 GB
WLAN Card	BCM43438 <i>wireless</i> LAN
Power	2.5 A/3.7 W
Hard disk	Micro SD 16 GB
Operating System	Ubuntu Mate 16.04



Gambar 4-13 Bentuk Fisik Raspberry Pi [42]

Untuk mengetahui kemampuan Raspberry Pi dalam *handle* trafik VoIP, dilakukan eksperimen menggunakan Kamailio dan SIPP. Dalam eksperimen ini, Kamailio dan SIPP diinstall pada Raspberry Pi. Sebuah laptop yang diinstall SIPP difungsikan sebagai *client* untuk membangkitkan trafik SIP dalam jumlah yang banyak. *Server* dan *client* terhubung secara *ad-hoc*. Panggilan yang dibangkitkan ditingkatkan dalam kelipatan 100. Grafik berikut ini menunjukkan hasil eksperimen yang dilakukan.



Gambar 4-14 Hasil Eksperimen SIPP

Dari grafik di atas, semakin tinggi jumlah panggilan yang dibangkitkan, semakin banyak juga jumlah panggilan yang dihandle. Namun persentase panggilan yang diblok juga semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan semakin tingginya beban *server* saat semakin banyak panggilan yang dihandle. Dari hasil eksperimen, jumlah panggilan terbanyak yang dapat dihandle dengan persentase *blocked call* maksimal 2% adalah sekitar 785 panggilan.

Sebagai perbandingan, [10] melakukan eksperimen untuk mengetahui jumlah panggilan terbanyak yang dapat dihandle oleh Raspberry Pi menggunakan SIP *server* Asterisk. Hasilnya, jumlah panggilan maksimal yang dapat dihandle saat persentase *blocked call* maksimal 5% adalah sebanyak 172 panggilan.

Hal yang perlu diingat adalah prinsip kerja Kamailio yang hanya menghandle panggilan saat proses inisiasi dan terminasi. Sementara Asterisk menghandle panggilan mulai dari inisiasi, panggilan berlangsung, hingga terminasi. Prinsip kerja Kamailio yang tidak membebani *server* saat pembicaraan antar *user* berlangsung menyebabkan lebih banyak panggilan yang dapat dihandle. Persentase *blocked call* 2% dijadikan sebagai acuan nilai maksimal *blocked call* yang diperbolehkan dalam penelitian ini.

4.2.6.3 Tower

Keberadaan *tower* untuk instalasi *outdoor* sangat penting mengingat *tower* menjadi satu-satunya tempat untuk meletakkan antena dan perangkat radio. Dari hasil survey yang dilakukan, harga pembelian untuk satu *tower* berkisar antara Rp. 850000 hingga lebih dari Rp. 300000000.

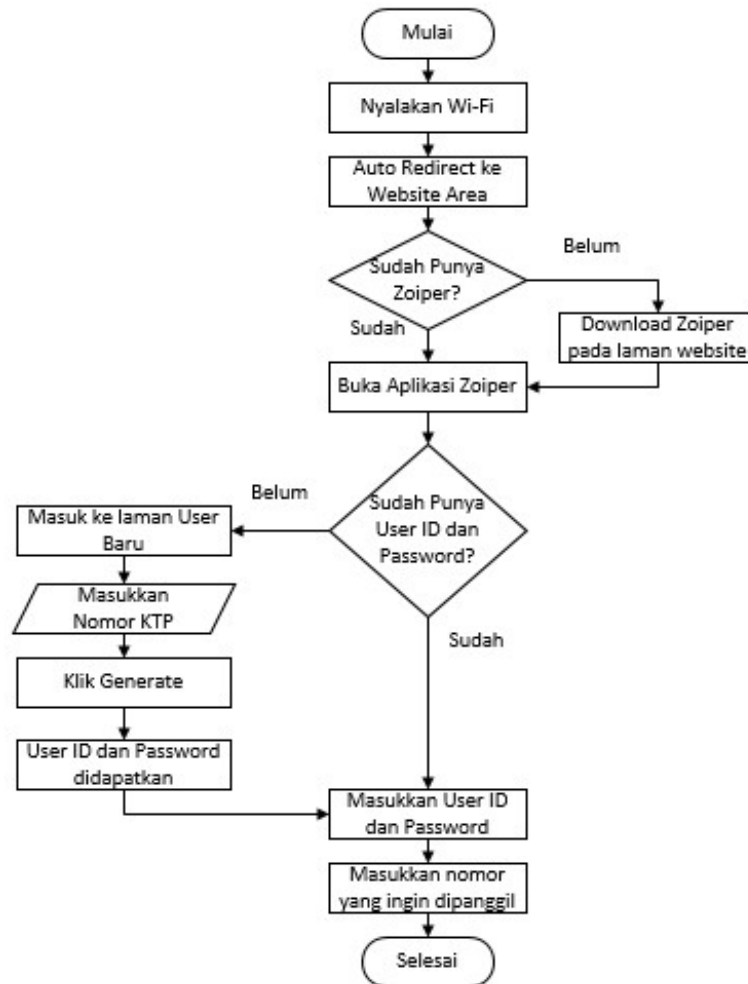
Tabel 4-10 Harga Pembelian *Tower*

Jenis <i>Tower</i>	Biaya
Triangle Painting 20cm x 20cm x 20cm (per 5m)	Rp.850.000 - Rp.1.000.000
Triangle Galvanize 20cm x 20cm x 20cm (per 5m)	Rp.1.250.000 - Rp.1.350.000
Triangle Painting 30cm x 30cm x 30cm (per 5m)	Rp.1.400.000 - Rp.1.550.000
Triangle Galvanize 30cm x 30cm x 30cm (per 5m)	Rp.1.750.000 - Rp.1.850.000
Square Galvanize 30cm x 30cm x 30cm (per 5m)	Rp.2.200.000 - Rp.2.750.000
Monopole 6m	Rp.1.400.000 - Rp.2.150.000
Monopole 12m	Rp.5.400.000 - Rp.8.750.000
Monopole 20m	Rp.7.000.000 - Rp.13.500.000
Monopole 30m	Rp.28.250.000 - Rp.31.000.000
Self Supporting <i>Tower</i> 42m	Rp.140.000.000 - Rp.175.000.000
Self Supporting <i>Tower</i> 52m	> Rp.200.000.000
Self Supporting <i>Tower</i> 62m	> Rp.240.000.000
Self Supporting <i>Tower</i> 72m	> Rp.300.000.000

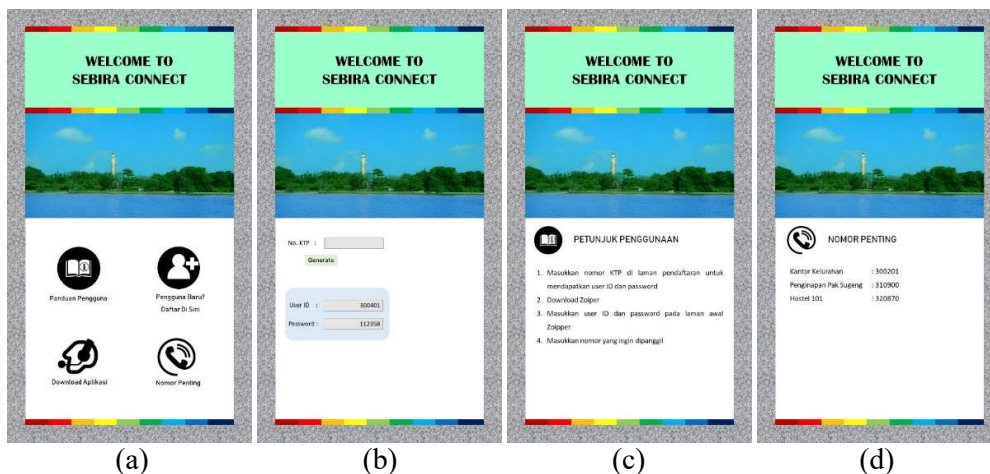
Khusus untuk Pulau Sebir yang suplai listriknya sangat terbatas, *solar panel* diperlukan sebagai sumber listrik. *Solar panel* ini akan diletakkan pada *tower*. Selain itu setiap *tower* juga perlu dipasang perangkat grounding untuk menghindari kerusakan perangkat akibat sambaran petir. Pada perancangan ini, *tower* jenis *triangle* dipilih karena selain dari segi harga yang murah serta *tower* yang diperlukan pada kedua area juga tidak perlu terlalu tinggi. Ketinggian *tower* akan disesuaikan pada saat dilakukan simulasi.

4.2.6.4 User Terminal

Agar setiap *user* dapat berkomunikasi menggunakan layanan VoIP, maka dibutuhkan aplikasi softphone Zoiper sebagai *user interface*. Setiap area dibuatkan *website* sebagai platform untuk mendapatkan *user ID* dan *password* sebagai identitas setiap *user*. Selain itu pada *website* juga disediakan petunjuk penggunaan, aplikasi Zoiper, serta nomor-nomor penting. *Flowchart* di bawah ini menunjukkan *step* yang harus dilakukan *user* untuk melakukan panggilan.



Gambar 4-15 Flow User Melakukan Panggilan
Pada gambar di bawah, ditampilkan contoh tampilan *website* untuk area Pulau Sebir. Untuk Desa Ngadas, sistem yang dibuat serupa dengan Pulau Sebir.



Gambar 4-16 Tampilan *Website* Pulau Sebir (a) Laman Home (b) Form Sign Up (c) Laman Petunjuk Penggunaan (d) Laman Nomor Penting

4.2.7 Kapasitas Jaringan

Pada perancangan ini, jaringan diasumsikan dapat mengakomodasi kebutuhan *user* hingga 5 tahun mendatang. Dengan menggunakan persamaan 3.2 dan data dari tabel 4.1 dan 4.2, didapatkan jumlah penduduk 5 tahun mendatang di Pulau Sebir dan Desa Ngadas sebanyak:

$$P_{t\ sebir} = 523x(1 + 0.0143)^5 = 562\ jiwa$$

$$P_{t\ ngadas} = 1672x(1 + 0.0038)^5 = 1704\ jiwa$$

Target *user* yang dilayani adalah penduduk usia produktif. Dengan menggunakan data dari tabel 4.1 dan 4.2, maka jumlah penduduk usia produktif Pulau Sebir dan Desa Ngadas 5 tahun mendatang adalah:

$$Penduduk\ Usia\ Produktif\ Pulau\ Sebir = 562 \times 0.6976 = 392\ jiwa$$

$$Penduduk\ Usia\ Produktif\ Desa\ Ngadas = 1704 \times 0.6786 = 1156\ jiwa$$

Setelah diketahui total *user*, langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan kapasitas. Dari hasil eksperimen, dengan menggunakan *audio codec* GSM, setiap *user* membutuhkan 34.8 Kilobit per detik. Oleh karena itu kebutuhan kapasitas untuk komunikasi *user* adalah:

$$Required\ User\ Capacity\ Pulau\ Sebir = 34.8\ kbps \times 392 = 13.64\ Mbps$$

$$Required\ User\ Capacity\ Desa\ Ngadas = 34.8\ kbps \times 1156 = 40.23\ Mbps$$

Dari hasil perhitungan, untuk komunikasi *user* Pulau Sebir dibutuhkan 13.64 Mbps, sedangkan untuk Desa Ngadas dibutuhkan 40.23 Mbps. Hasil perhitungan ini hanya untuk komunikasi *user*. Sedangkan dari hasil eksperimen pada pembahasan 4.2.5.2, *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* me-broadcast bit sebanyak 2 Kbps untuk tiga *router*. Semakin banyak *router* yang digunakan di jaringan maka semakin banyak bit yang dikonsumsi oleh *routing* protokol. Sehingga kapasitas total jaringan adalah kebutuhan *bandwidth* untuk komunikasi *user* ditambah dengan *bandwidth* yang dibutuhkan oleh *routing protocol*. Sementara untuk mengetahui berapa kebutuhan *bandwidth* setiap *router* sulit untuk dilakukan. Sebab setiap *router* menyimpan informasi *neighbor* yang berbeda. Hal tersebut menyebabkan jumlah informasi yang dipancarkan juga berbeda. Namun jika dibandingkan jumlah kebutuhan data *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* dengan kebutuhan *user*, kebutuhan *routing* sangatlah kecil. Sehingga untuk perhitungan kapasitas jaringan, kebutuhan *routing* dapat diabaikan.

Pada jaringan *mesh*, semua *node* membentuk satu *cell* yang melingkupi seluruh *coverage area*. Karena jaringan *mesh* berdasarkan pada standar 802.11, maka kapasitas maksimal jaringan mengikuti kemampuan perangkat 802.11 yang digunakan. Sebagai contoh, standar 802.11.b memiliki *data rate* maksimal 11 Mbps. Dengan kata lain, *data rate* maksimal yang dapat disediakan jaringan jika menggunakan perangkat 802.11.b adalah sebesar 11 Mbps. Hal yang perlu diperhatikan adalah semua nilai *bitrate* itu adalah nilai secara teoritis. Untuk mengetahui berapa *bit* per detik yang dapat disediakan oleh *router*, dilakukan eksperimen menggunakan Iperf yang dapat mengukur besarnya *bandwidth*. Pada eksperimen ini digunakan satu buah *router* TP Link MR3020, Raspberry Pi sebagai *server*, dan laptop sebagai *client*. Iperf diinstall pada *server* dan *client*. Kemudian data dengan ukuran besar dikirim dari *server* ke *client* menggunakan *router* sebagai perantara. Lalu Iperf mengukur berapa *bandwidth* yang tersedia.

Dari hasil kalkulasi, kebutuhan data untuk *user* Pulau Sebira sebesar 13.64 Mbps. Sedangkan untuk Desa Ngadas, kebutuhan data untuk *user* sebesar 40.23 Mbps. Dengan menggunakan perangkat 802.11g yang memiliki maksimum *data rate* 54 Mbps atau 802.11n yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz dengan maksimum *data rate* 72.2 Mbps, kebutuhan *data rate* untuk Pulau Sebira dan Desa Ngadas dapat terpenuhi. Oleh karena itu pada eksperimen ini dilakukan pengukuran dengan menggunakan protokol yang berbeda, 802.11g dan 802.11n. *Channel* yang digunakan pada eksperimen adalah *channel* nomor 1 dengan lebar yang dipilih adalah 20 MHz.

Tabel 4-11 Hasil Pengukuran *Bandwidth* 802.11g dan 802.11n

Jarak : 5m						
Percobaan	<i>Bandwidth</i> (Mbps)		<i>Jitter</i> (ms)		<i>Lost</i> (%)	
	802.11g	802.11n	802.11g	802.11n	802.11g	802.11n
1	15.3	47.5	0.1	0.2	0	0
2	15.2	48.8	0.2	0.1	0	0
3	14.9	47.8	0.1	0.3	0	0
4	15.1	48.4	0.1	0.1	0	0
5	15.2	48.8	0.3	0.1	0	0
Jarak: 10m						
1	14.9	47.5	0.4	0.3	0.1	0.1
2	14.8	47.9	0.3	0.3	0	0.1
3	15.1	48.8	0.5	0.4	0	0.2
4	15.3	48.8	0.5	0.4	0.1	0

5	15.2	47.6	0.6	0.6	0.1	0.1
Jarak: 15m						
1	15.2	48.8	0.9	0.7	0.1	0.1
2	14.8	47.8	0.7	0.6	0.3	0.3
3	14.7	47.6	0.6	0.8	0.3	0.3
4	15.1	47.6	0.8	0.7	0.1	0.4
5	15	48.2	0.9	0.9	0.3	0.2
Jarak: 20m						
1	14.9	48.3	1.3	1.5	0.5	0.5
2	14.8	48.8	1.5	1.7	0.8	0.6
3	15.2	47.9	1.6	1.6	0.7	0.8
4	15.3	47.3	1.6	1.2	0.7	0.7
5	15.1	48.8	1.7	1.8	0.6	0.6

Dari hasil percobaan didapatkan kapasitas maksimum 802.11g adalah 15.3 Mbps sedangkan 802.11n sebesar 48.8 Mbps. Untuk area Pulau Sebir, kapasitas yang dibutuhkan adalah 13.64 Mbps. Dengan menggunakan 802.11g atau 802.11n, kapasitas yang dibutuhkan sudah terpenuhi. Sementara itu untuk area Desa Ngadas, kebutuhan *user* sebesar 40.23 Mbps sehingga 802.11n lah yang dapat memenuhi kebutuhan *user*. *Bandwidth* 48.8 Mbps dari hasil pengukuran dijadikan referensi nilai *bandwidth* yang digunakan dalam perhitungan pada proses verifikasi kapasitas jaringan.

Seperti telah dijelaskan pada 2.2.1.2. keberadaan *multi-hop* mempengaruhi kapasitas setiap *link*. Untuk membuktikan hal tersebut, dilakukan percobaan dengan menggunakan beberapa *router* sehingga tercipta *multi-hop*. *Channel* yang digunakan pada eksperimen adalah *channel* nomor 1 dengan lebar 20 MHz dan tipe MCS yang digunakan adalah MCS0 yang menggunakan BPSK. Berikut ini adalah hasil pengukuran *bandwidth* menggunakan Iperf dengan skenario jumlah *hop* yang berbeda dengan protokol 802.11n.

Tabel 4-12 Hasil Pengukuran *Multi-hop*

Jarak : 5m	Parameter	Jumlah Hop	Percobaan Ke-				
			1	2	3	4	5
	<i>Bandwidth</i> (Mbps)	1 Hop	47.5	48.8	47.8	48.4	48.8
		2 Hop	22.8	21.6	24	26.2	26.6
		3 Hop	14.38	12.4	13.68	13.4	12.94
	Jitter (ms)	1 Hop	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1
		2 Hop	1.32	1.12	1.43	1.15	1.23
		3 Hop	1.94	2.03	2	1.98	1.89

Jarak : 10m	Lost (%)	1 Hop	0	0	0	0	0
		2 Hop	0.34	0.23	0.31	0.12	0.23
		3 Hop	0.49	0.51	0.48	0.49	0.5
	Bandwidth (Mbps)	1 Hop	47.5	47.9	48.8	48.8	47.6
		2 Hop	25.1	24.6	26.1	24.9	25.7
		3 Hop	14.38	12.4	13.68	13.4	12.94
	Jitter (ms)	1 Hop	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6
		2 Hop	1.56	1.72	1.64	1.73	1.59
		3 Hop	2.04	2.07	2.13	2.19	2.11
Jarak : 15m	Lost (%)	1 Hop	0.1	0.1	0.2	0	0.1
		2 Hop	0.67	0.53	0.68	0.59	0.48
		3 Hop	0.94	0.83	0.92	0.79	0.82
	Bandwidth (Mbps)	1 Hop	48.8	47.8	47.6	47.6	48.2
		2 Hop	23.9	25.9	24.3	25.7	25.8
		3 Hop	14.29	14.56	13.98	12.99	14.02
	Jitter (ms)	1 Hop	0.7	0.6	0.8	0.7	0.9
		2 Hop	1.83	1.95	2.01	1.99	2.02
		3 Hop	2.35	2.54	2.45	2.51	2.39
Jarak : 20m	Lost (%)	1 Hop	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2
		2 Hop	0.8	0.69	0.73	0.78	0.72
		3 Hop	0.87	0.89	0.94	0.95	0.95
	Bandwidth (Mbps)	1 Hop	48.3	48.8	47.9	47.3	48.8
		2 Hop	25.6	26	25.9	25.4	25.7
		3 Hop	14.83	14.56	13.98	14.32	13.99
	Jitter (ms)	1 Hop	1.5	1.7	1.6	1.2	1.8
		2 Hop	1.98	2.03	2.09	2.1	2.01
		3 Hop	2.87	3	2.98	2.99	3.01
	Lost (%)	1 Hop	0.5	0.6	0.8	0.7	0.6
		2 Hop	0.83	0.79	0.82	0.81	0.8
		3 Hop	0.98	1.05	1.02	0.99	1

Dari percobaan didapatkan hasil bahwa semakin banyak *node* yang dilewati informasi, kapasitas yang tersedia terbagi sebanyak hop yang dilewati. Hal tersebut sesuai dengan teori yang dijelaskan pada [15], walaupun nilainya berfluktuasi yang disebabkan oleh kondisi *channel wireless* yang memang tidak stabil. Selain itu besarnya kapasitas tidak dipengaruhi oleh jarak antar *node*. Hal tersebut berkebalikan dengan nilai *jitter* dan *packet lost* yang semakin tinggi saat jarak semakin jauh dan jumlah *hop* semakin banyak.

4.2.8 Posisi Node

Pada pembahasan ini dilakukan simulasi menggunakan Radio Mobile untuk menentukan jumlah dan peletakkan *node* sehingga seluruh area yang diinginkan

tercover oleh sinyal. Parameter yang diperlukan pada simulasi adalah ketinggian antenna, tipe antenna, sudut *azimuth* antenna, besar sudut *tilting*, besar *gain* antenna, ketinggian antenna dan *gain* antenna penerima, frekuensi, Tx power, Rx power, Tx dan Rx *line loss*, sensitivitas penerima, dan *reliability*. Nilai parameter yang dibutuhkan didapatkan dari spesifikasi perangkat radio.

4.2.8.1 Posisi Node Pulau Sebira

Pada area Pulau Sebira, area yang diprioritaskan untuk dicover adalah bagian selatan, tenggara, dan tengah pulau di mana pemukiman penduduk terletak. Dengan mempertimbangkan letak pemukiman penduduk yang tersebar ke segala arah, maka penggunaan antenna *omnidirectional* merupakan solusi yang cocok. Oleh karena itu, untuk area Pulau Sebira, penggunaan Ubiquiti Pico Station M2 merupakan pilihan yang tepat. Berikut ini adalah parameter yang digunakan untuk simulasi yang disesuaikan dengan spesifikasi perangkat yang digunakan.

Tabel 4-13 Parameter Simulasi Coverage Node Pulau Sebira

<i>Frequency</i>	2412 MHz	<i>Tx Line Loss</i>	3 dB
<i>Tx Power</i>	20 dBm	<i>Tx Antenna Type</i>	<i>Omnidirectional</i>
<i>Rx Sensitivity</i>	-96 dBm	<i>Mobile Antenna Height</i>	0 m
<i>Tx Height</i>	2 m	<i>Mobile Antenna Gain</i>	0 dB
<i>Tx Antenna Gain</i>	5 dBi	<i>Strong Signal Margin</i>	3 dB

Dari hasil simulasi, didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 4-17 Hasil Simulasi Coverage Pulau Sebira

Dari hasil simulasi, tiga buah *wireless node* cukup untuk mengcover area yang diinginkan. Warna hijau mengindikasikan kuat sinyal yang diterima di area tersebut ≥ -93 dBm dan warna kuning menunjukkan kuat sinyal berada pada level antara -93 hingga -96 dBm. Nilai -96 dBm diambil dari Rx *Sensitivity* perangkat yang digunakan. Pada simulasi ketinggian *wireless node* berada 2m di atas permukaan tanah. Hal ini didasarkan pada ketinggian *wireless node* yang biasa diletakkan di dalam ruangan.

Karena *server node* tidak mungkin diletakkan di area *outdoor*, maka *server* harus diletakkan di dalam ruangan. *Server* juga tidak bisa diletakkan di sembarang rumah warga. Oleh karena itu Sekolah Satu Atap yang merupakan fasilitas umum di Pulau Sebiria dipilih sebagai tempat meletakkan *server node*. Tabel berikut ini merangkum posisi *wireless node* dan ketinggian *tower* yang digunakan dalam simulasi.

Tabel 4-14 Posisi dan Parameter Site Pulau Sebiria

<i>Node</i>	Longitude	Latitude	Ketinggian Tanah	Tinggi Tower	Device
1	106.4612	-5.2045	6.4 m	2 m	Ubiquiti Pico Station M2
2	106.4602	-5.2050	9.1 m		
3	106.4609	-5.2054	6.2 m		
<i>Server</i>	106.4605	-5.2055	4.2 m	-	Raspberry Pi

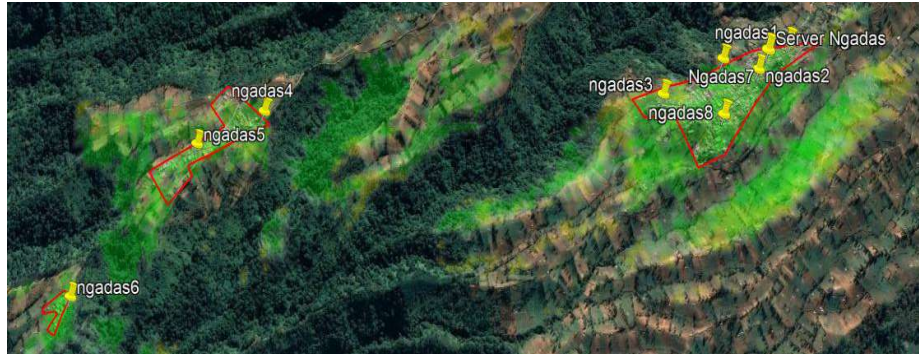
4.2.8.2 Posisi Node Desa Ngadas

Pada area Desa Ngadas, pemukiman penduduk terpusat di tiga bagian: timur, tengah, dan barat. Untuk mempermudah penamaan, area bagian timur diberi nama Area 1, bagian tengah disebut Area 2, dan bagian barat adalah Area 3. Tabel di bawah ini menunjukkan parameter yang digunakan untuk simulasi.

Tabel 4-15 Parameter Simulasi Coverage Node Desa Ngadas

<i>Frequency</i>	2412 MHz	<i>Tx Power</i>	20 dBm
<i>Rx Sensitivity</i>	-96 dBm	<i>Tx Line Loss</i>	3 dB
<i>Tx Antenna Gain & Type</i>		<i>Tx Height</i>	5 m
- Pico Station (<i>Omni</i>)	5 dBi	<i>Mobile Antenna Height</i>	0 m
- Loco (<i>Directional</i>)	8 dBi	<i>Mobile Antenna Gain</i>	0 dB
- Air Grid (<i>Directional</i>)	16 dBi	<i>Strong Signal Margin</i>	3 dB

Dari hasil simulasi, dibutuhkan delapan *node* untuk mengcover seluruh area yang diinginkan. Gambar di bawah ini menunjukkan hasil simulasi untuk seluruh area Desa Ngadas.



Gambar 4-18 Hasil Simulasi *Coverage area* Desa Ngadas

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa ada area yang lebih dekat yang tidak mendapatkan sinyal sedangkan area yang lebih jauh mendapatkan sinyal. Hal tersebut disebabkan kontur tanah yang berbukit menyebabkan adanya bidang tanah yang mendapatkan sinyal dan tidak. Hal tersebut tidak menjadi masalah selama area yang diinginkan menerima sinyal.

Area 1 memiliki luas sekitar 0.21 km² dan merupakan area terluas dari ketiga area pemukiman Desa Ngadas. Untuk Area ini, dibutuhkan lima *node* untuk mengcover keseluruhan area. *Wireless node* dengan antena omni directional cocok diletakkan di bagian tengah area karena dikelilingi oleh perumahan penduduk. Sedangkan di bagian ujung barat area, *wireless node* dengan antena *directional* ditempatkan untuk menghubungkan Area 1 dan Area 2. Gambar di bawah ini menunjukkan hasil simulasi untuk Area 1.



Gambar 4-19 Posisi *Node* Area 1 Desa Ngadas

Area 2 memiliki luas sekitar 0.076 km² dan berada di antara Area 2 dan 3. Pemukiman penduduk di area ini tidak terlalu padat. Posisi pemukiman penduduk membentuk area persegi panjang yang mengikuti kontur tanah di sekitar area ini.

Dari hasil simulasi, hanya dibutuhkan dua buah *node* untuk bisa mengcover seluruh Area 2. Di ujung sebelah barat digunakan *wireless node* dengan antena directional yang digunakan untuk menghubungkan Area 2 dan Area 3. Gambar di bawah ini menunjukkan hasil simulasi.



Gambar 4-20 Posisi *Node* Area 2 Desa Ngadas

Area 3 merupakan area terkecil dengan luas hanya sekitar 0.007 km². Dari hasil simulasi, hanya dibutuhkan satu *node* untuk mengcover keseluruhan area. Gambar berikut ini menunjukkan hasil simulasi pada Area 3.



Gambar 4-21 Posisi *Node* Area 3 Desa Ngadas

Kantor Kepala Desa Ngadas dipilih sebagai tempat peletakkan *server node* karena merupakan fasilitas umum dan dapat dijangkau dengan mudah. Tabel di bawah ini merangkum posisi semua *node* pada Area 1, 2, dan 3 beserta perangkat yang digunakan.

Tabel 4-16 Posisi *Node* Desa Ngadas

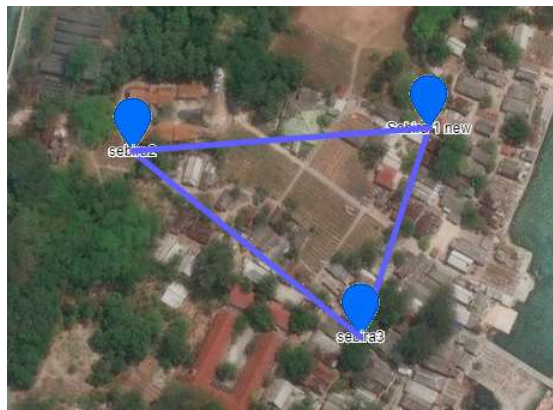
<i>Node</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	Ketinggian Tanah	Tinggi Tower	<i>Device</i>	Area
1	112.9100	-7.9815	2156.1 m	5 m	Pico Station	1
2	112.9087	-7.9824	2153.1 m	5 m	Pico Station	
7	112.9074	-7.9820	2130.1 m	5 m	Loco	
8	112.9073	-7.9839	2126.2 m	5 m	Pico Station	
3	112.9051	-7.9832	2109.1 m	5 m	Air Grid	2
4	112.8894	-7.9833	1969.1 m	5 m	Pico Station	
5	112.8867	-7.9844	1927.3 m	5m	Air Grid	
6	112.8819	-7.9895	1824.5 m	5 m	Pico Station	3
<i>Server</i>	112.9092	-7.9818	2159 m	-	Raspberry Pi	1

4.2.9 Link Budget

Proses perhitungan *link budget* pada perancangan ini dilakukan oleh Radio Mobile dengan menggunakan metode prediksi Longley Rice Model. Parameter pada perhitungan mengikuti spesifikasi perangkat yang digunakan.

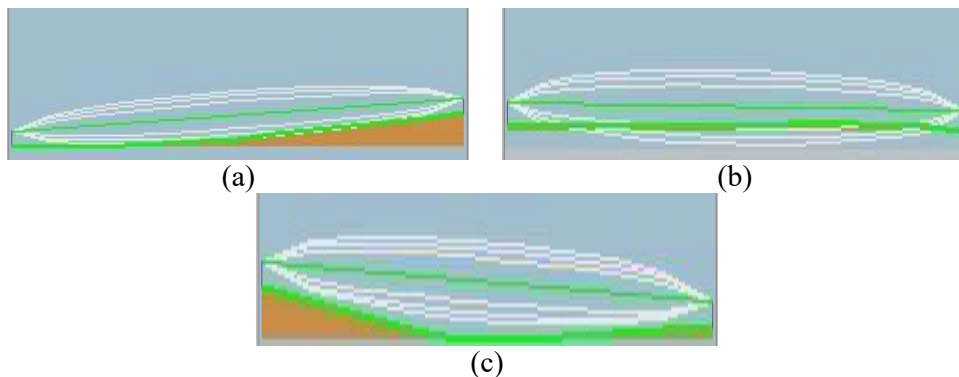
4.2.9.1 Hasil Link Budget Pulau Sebira

Pada Pulau Sebira, terdapat tiga *wireless node* yang digunakan untuk *mengcover* keseluruhan area. Perangkat yang digunakan adalah Pico Station yang memiliki antena omnidirectional dengan *gain* 5 dBi dan sensitivitas -96 dBm. Gambar di bawah ini menunjukkan *link* yang terbentuk antar *wireless node*.



Gambar 4-22 Radio Link Pulau Sebira

Gambar di bawah ini menunjukkan kondisi *link* antar *node* hasil simulasi.



Gambar 4-23 Link Sebira (a) Node 1-2 (b) Node 1-3 (c) Node 2-3

Dari hasil simulasi, *link* antar *node* memiliki level sinyal yang bagus. Hal ini ditunjukkan dengan garis berwarna hijau yang mengindikasikan bahwa sinyal yang sampai pada penerima berada pada level ≥ -93 dBm atau minimal 3 dB di atas level minimum yang diperbolehkan. Tabel di bawah ini merangkum hasil perhitungan *link budget*.

Tabel 4-17 Perhitungan *Link Budget* Area Pulau Sebir

Parameter	Sebira 1-2	Sebira 1-3	Sebira 2-3
Tx Power	20 dBm	20 dBm	20 dBm
Tx Line Loss	3 dB	3 dB	3 dB
Tx Antenna Gain	5 dBi	5 dBi	5 dBi
Rx Antenna Gain	5 dBi	5 dBi	5 dBi
Rx Line Loss	3 dB	3 dB	3 dB
Frequency	2412 MHz	2412 MHz	2412 MHz
Rx Sensitivity	-96 dBm	-96 dBm	-96 dBm
Free Space Loss	142.36 dB	142.36 dB	139.04 dB
Obstruction Loss	0 dB	0 dB	0 dB
Forest Loss	0 dB	0 dB	0 dB
Urban Loss	0 dB	0 dB	0 dB
Statistical Loss	24.48 dB	24.48 dB	24.25 dB
Distance	0.129 Km	0.129 Km	0.088 Km
EIRP	22 dBm	22 dBm	22 dBm
System Gain	120 dB	120 dB	120 dB
Received signal	-76.49 dBm	-76.49 dBm	-76.25 dBm
Fade Margin	19.52 dB	19.52 dB	19.75 dB

Dari hasil perhitungan, *forest loss* bernilai 0 karena sinyal yang merambat tidak melewati vegetasi tanaman yang lebat. Fade margin semua *link* memiliki nilai > 19 dB yang berarti sinyal yang diterima memiliki level di atas *threshold* minimal yang ditentukan.

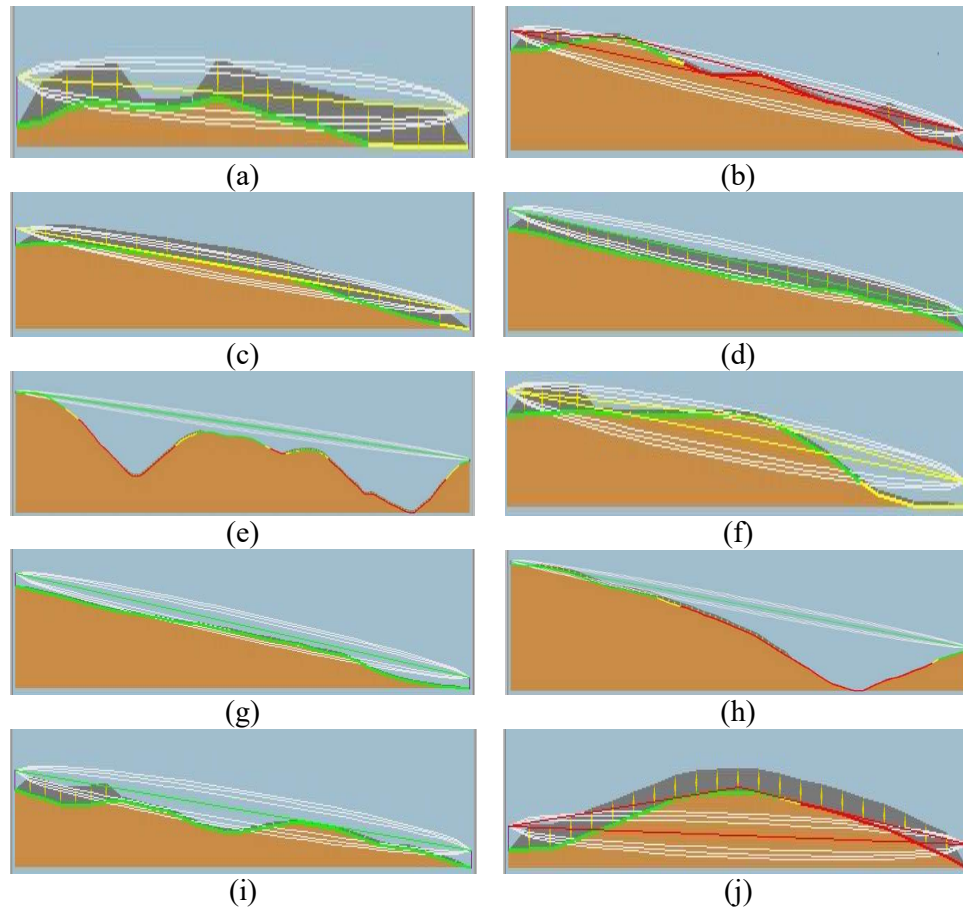
4.2.9.2 Hasil *Link Budget* Desa Ngadas

Pada area Desa Ngadas terdapat 8 *node* yang mengcover seluruh area. Jarak antara Area 1 dan Area 2 adalah 1.7 Km dan jarak antara Area 2 dan 3 adalah 0.8 Km. Untuk menghubungkan area 1, 2, dan 3 dibutuhkan *long-distance link* yang menggunakan *directional antenna* dengan gain yang tinggi.



Gambar 4-24 Radio *Link* Desa Ngadas

Berikut ini adalah hasil simulasi untuk seluruh *link* radio di Desa Ngadas.



Gambar 4-25 *Link* Desa Ngadas (a) *Node* 1-2 (b) *Node* 1-7 (c) *Node* 2-7 (d) *Node* 2-8 (e) *Node* 3-4 (f) *Node* 3-8 (g) *Node* 4-5 (h) *Node* 5-6 (i) *Node* 7-3 (j) *Node* 7-8

Tabel di bawah ini merangkum parameter hasil perhitungan semua *link* radio.

Tabel 4-18 Perhitungan *Link Budget* Area Desa Ngadas

<i>Link</i>	Radio System							
	Tx				Rx			
	<i>Power</i> (dBm)	<i>Line Loss</i> (dB)	<i>Antenna Gain</i> (dBi)	<i>Frequency</i> (MHz)	<i>Antenna Gain</i> (dBi)	<i>Line Loss</i> (dB)	<i>Sensitivity</i> (dBm)	<i>Frequency</i> (MHz)
1-2	20	3	5	2412	5	3	-96	2412
1-7	20	3	5	2412	8.5	3	-96	2412
2-7	20	3	5	2412	8.5	3	-96	2412
2-8	20	3	5	2412	5	3	-96	2412
3-4	20	3	16	2412	5	3	-96	2412
3-8	20	3	16	2412	5	3	-96	2412
4-5	20	3	5	2412	16	3	-96	2412
5-6	20	3	16	2412	5	3	-96	2412
7-3	20	3	8.5	2412	16	3	-96	2412
7-8	20	3	8.5	2412	5	3	-96	2412

Link	Loss (dB)				
	FSL	Obstruction	Forest	Urban	Statistical
1-2	144.96	16.04	7.07	0	56.44
1-7	149.08	54.83	6.06	0	60.70
2-7	143.39	32.10	7.44	0	53.87
2-8	147.17	0	7.59	0	75.52
3-4	164.79	47.09	0	0	29.60
3-8	148.28	57.93	6	0	33.39
4-5	150.12	0	0	0	82.58
5-6	157.83	24.52	6	0	40.93
7-3	149.38	24.27	6	0	57.60
7-8	146.78	63.87	6.03	0	58.46

Link	Distance (Km)	EIRP (dBm)	System Gain (dB)	Received signal (dBm)	Fade Margin (dB)
1-2	0.176	22	120	-84.51	11.49
1-7	0.283	22	123.5	-127.17	-31.17
2-7	0.147	22	123.5	-93.31	2.69
2-8	0.227	22	120	-90.28	5.72
3-4	1.726	33	131	-90.48	5.52
3-8	0.258	33	131	-94.6	1.4
4-5	0.319	22	131	-81.7	14.3
5-6	0.775	33	131	-78.29	17.71
7-3	0.293	25.5	134.5	-82.76	13.24
7-8	0.217	25.5	123.5	-142.17	-46.17

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel di atas, *link* 1-7 dan 7-8 memiliki *fade margin* negatif. Hal ini menunjukkan bahwa level sinyal yang diterima lebih rendah dari level minimal sinyal yang diperbolehkan.

4.2.10 Verifikasi Performance Jaringan

4.2.10.1 Coverage area

Coverage area dapat dikatakan telah memenuhi QoS jika seluruh area yang diinginkan tercover oleh jaringan. Pada point 4.8. dapat dilihat bahwa seluruh area yang diinginkan, baik di Pulau Sebir dan Desa Ngadas, telah tercover sinyal. Oleh karena itu QoS *coverage area* telah terpenuhi.

4.2.10.2 Level Penerimaan Sinyal

Seperti telah ditetapkan pada point 4.5, *link* radio dapat dikatakan memenuhi standar QoS jika:

$$\text{Received signal} > \text{Rx Sensitivity}$$

Dari hasil kalkulasi *link budget* untuk Pulau Sebir, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4-19 *Received signal VS Rx Sensitivity* Pulau Sebira

<i>Link</i>	<i>Received signal</i>	<i>Rx Sensitivity</i>	Result
Sebira 1-2	-76.49 dBm	-96 dBm	OK
Sebira 1-3	-76.49 dBm	-96 dBm	OK
Sebira 1-3	-76.26 dBm	-96 dBm	OK

Dari hasil kalkulasi, didapatkan sinyal yang diterima pada ketiga *link* Pulau Sebira bernilai lebih tinggi dari sensitivitas penerima. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa *link* antar *node* Pulau Sebira sudah memenuhi standar yang ditetapkan sehingga tidak diperlukan perubahan parameter radio atau posisi *site*.

Sedangkan untuk *link* Desa Ngadas, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4-20 *Received signal VS Rx Sensitivity* Desa Ngadas

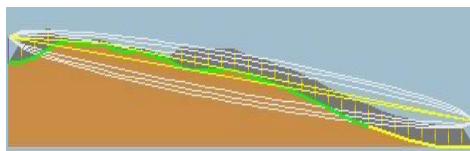
<i>Link Ngadas</i>	<i>Received signal</i>	<i>Rx Sensitivity</i>	Result
1-2	-84.52 dBm	-96 dBm	OK
1-7	-127.18 dBm	-96 dBm	NOK
2-7	-93.32 dBm	-96 dBm	OK
2-8	-90.29 dBm	-96 dBm	OK
3-4	-90.49 dBm	-96 dBm	OK
3-8	-94.91 dBm	-96 dBm	OK
4-5	-81.71 dBm	-96 dBm	OK
5-6	-78.3 dBm	-96 dBm	OK
7-3	-82.77 dBm	-96 dBm	OK
7-8	-142.18 dBm	-96 dBm	NOK

Dari hasil kalkulasi, *link* antara *node* 1-7 dan 7-8 Desa Ngadas memiliki penerimaan level sinyal di bawah sensitivitas penerima. Oleh karena itu, perubahan perlu dilakukan. Dari kedua *link* tersebut, diketahui *site* nomor 7 lah yang bermasalah. Oleh karena itu, posisi *site* 7 akan diubah. Dengan menggunakan Radio Mobile, dilakukan lagi simulasi *coverage* dan radio *link*. Berikut ini adalah posisi baru *site* 7 Desa Ngadas dengan hasil simulasi terbaik.

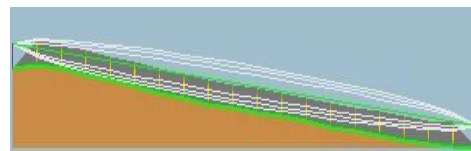
Tabel 4-21 Posisi Baru Site 7 Desa Ngadas

Site	Longitude	Latitude
Desa Ngadas 7	112.907108	-7.982695

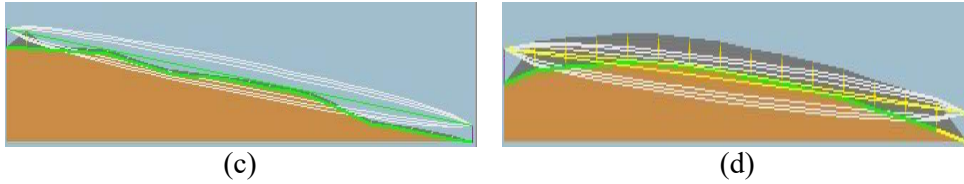
Karena pada *site* 7 terdapat 4 *link*, maka seluruh *link* akan terpengaruh. Berikut ini adalah hasil simulasi dengan mengubah posisi *site* 7.



(a)



(b)



Gambar 4-26 Hasil Optimasi *Link* Radio Desa Ngadas (a) *Node* 1-7 (b) *Node* 2-7
(c) *Node* 7-3 (d) *Node* 7-8

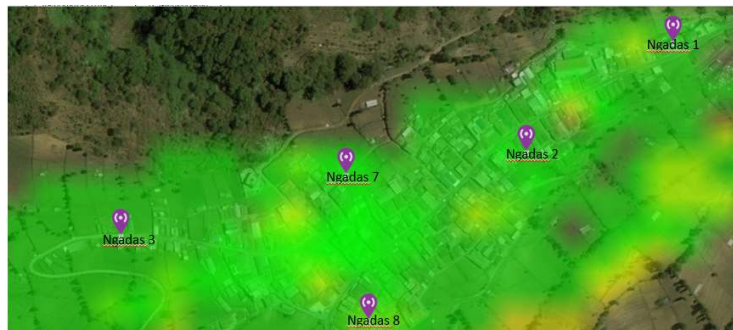
Tabel berikut ini merangkum performansi radio dari keempat *link* tersebut.

Tabel 4-22 *Link* Radio Setelah Perubahan Posisi *Site* Desa Ngadas 7

<i>Link</i>	1-7	2-7	7-3	7-8
FSL	150.90 dB	145.30 dB	147.27 dB	143.37 dB
Obstruction <i>Loss</i>	39.84 dB	29.76 dB	24.52 dB	35.55 dB
Forest <i>Loss</i>	6.06 dB	7.44 dB	6 dB	6.03 dB
Urban <i>Loss</i>	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Statistical <i>Loss</i>	40.70 dB	43.87 dB	57.60 dB	53.87 dB
Distance	0.345 Km	0.181 Km	0.227 Km	0.145 Km
EIRP	22 dBm	22 dBm	25.5 dBm	25.55 dBm
System <i>Gain</i>	123.50 dB	123.50 dB	134.50 dB	123.50 dB
<i>Received signal</i>	-94.01 dB	-82.88 dBm	-80.90 dBm	-95.33 dBm
Fade Margin	2 dB	13.13 dB	15.11 dB	0.68 dB
<i>Received signal</i>	-94.01 dB	-82.88 dBm	-80.90 dBm	-95.33 dBm
Rx <i>Sensitivity</i>	-96 dBm	-96 dBm	-96 dBm	-96 dBm
Result	OK	OK	OK	OK

Dari hasil simulasi, keempat *link* yang terpengaruh perubahan posisi *site* 7 memiliki *received signal* yang lebih tinggi dari Rx *sensitivity*. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa level penerimaan *link* radio telah memenuhi QoS yang ditentukan.

Hal yang perlu diingat juga adalah dengan berubahnya posisi *node* 7, maka *coverage area* juga berubah. Dari hasil simulasi *coverage area* dengan menggunakan posisi baru *node* 7, tidak terjadi perubahan yang signifikan dalam *coverage area*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa QoS *coverage area* tetap terpenuhi.



Gambar 4-27 *Coverage Area* Setelah Perubahan Posisi *Node* Ngadas7

4.2.10.3 Nilai Eb/N₀

Untuk menghitung nilai Eb/N₀ digunakan nilai *received signal* hasil *link budget*. Kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.4. dengan parameter sebagai berikut:

Bandwidth = 20 MHz,
Bitrate = 48.8 Mbps
Temperatur Pulau Sebir = 35 °C atau 308 °K
Temperatur Desa Ngadas = 25 °C atau 298 °K

Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4-23 Hasil Pehitungan Eb/N₀

<i>Link</i>	<i>Received signal</i> (dBm)	Eb/No (dB)	Required Eb/No (dB)	Result
Sebir 1-2	-76.49	20.34	10.52	OK
Sebir 1-3	-76.49	20.34	10.52	OK
Sebir 1-3	-76.26	20.57	10.52	OK
Ngadas 1-2	-84.52	12.45	10.52	OK
Ngadas 1-7	-94.01	2.96	10.52	NOK
Ngadas 2-7	-82.88	14.09	10.52	OK
Ngadas 2-8	-90.29	6.68	10.52	NOK
Ngadas 3-4	-90.49	6.48	10.52	NOK
Ngadas 3-8	-94.91	2.06	10.52	NOK
Ngadas 4-5	-81.71	15.26	10.52	OK
Ngadas 5-6	-78.30	18.67	10.52	OK
Ngadas 7-3	-80.90	16.07	10.52	OK
Ngadas 7-8	-95.33	1.64	10.52	NOK

Dari hasil perhitungan, didapatkan hasil seluruh *link* di Pulau Sebir telah memenuhi nilai Eb/N₀ yang dibutuhkan, dengan nilai yang berada pada rentang 20.34-20.57 dB. Hal tersebut menandakan level *noise* di Pulau Sebir cukup rendah. Sementara itu untuk Desa Ngadas, ada 5 dari 10 *link* yang memiliki nilai Eb/N₀ di bawah 10.52 dB. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi pada kelima *link* tersebut. Optimasi yang dilakukan untuk memperbaiki Eb/N₀ pada lima *link* yang bermasalah adalah:

- *Node* Ngadas 3: mengganti antenna *node* Ngadas 3, Ubiquiti Air Grid yang sebelumnya memiliki *gain* antenna 16 dBi, menjadi *antenna gain* 20 dBi. Kemudian menaikkan ketinggian posisi *node* dari 5m menjadi 6m.
- *Node* Ngadas 8: mengubah ketinggian *node* Ngadas 8 dari 5m menjadi 6.5m.

- *Node* Ngadas 7: mengubah *node* Ngadas 7 dari Ubiquiti Loco Station menjadi Ubiquiti Air Grid dengan *gain antenna* 16 dBi.
- *Node* Ngadas 1: mengubah ketinggian *node* dari 5m menjadi 6.5m.

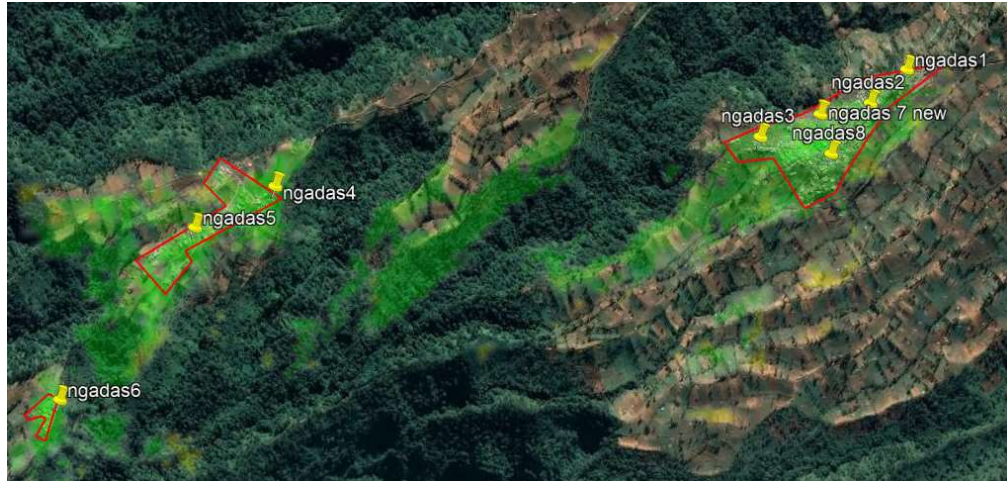
Dengan mengubah parameter keempat *node* tersebut, maka *link* radio lain yang terhubung dengan keempat *node* tersebut juga mengalami perubahan. Selain kelima *link* yang bermasalah, *link* radio yang terdampak adalah Ngadas 1-2, Ngadas 7-3, dan Ngadas 2-7. Berikut ini adalah tabel E_b/N_0 hasil optimasi.

Tabel 4-24 E_b/N_0 Hasil Optimasi

<i>Link</i>	<i>Received signal</i> (dBm)	E_b/N_0 (dB)	Required E_b/N_0 (dB)	Result
Sebira 1-2	-76.49	20.34	10.52	OK
Sebira 1-3	-76.49	20.34	10.52	OK
Sebira 1-3	-76.26	20.57	10.52	OK
Ngadas 1-2	-81.66	15.31	10.52	OK
Ngadas 1-7	-84.21	12.76	10.52	OK
Ngadas 2-7	-75.38	21.59	10.52	OK
Ngadas 2-8	-81.61	15.36	10.52	OK
Ngadas 3-4	-85.35	11.62	10.52	OK
Ngadas 3-8	-84.16	12.81	10.52	OK
Ngadas 4-5	-81.71	15.26	10.52	OK
Ngadas 5-6	-78.30	18.67	10.52	OK
Ngadas 7-3	-73.40	23.57	10.52	OK
Ngadas 7-8	-83.96	13.01	10.52	OK

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa seluruh *link* memiliki nilai E_b/N_0 di atas 10.52 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa QoS E_b/N_0 telah terpenuhi.

Perubahan pada empat *node* di atas menyebabkan *coverage area* setiap *node* juga terpengaruh. Simulasi *coverage area* dilakukan kembali untuk mengecek apakah *coverage area* yang diinginkan masih terpenuhi. Gambar berikut ini menunjukkan hasil simulasi *coverage area* setelah dilakukan perubahan parameter.



Gambar 4-28 Hasil Simulasi *Coverage Area* Setelah Optimasi Parameter

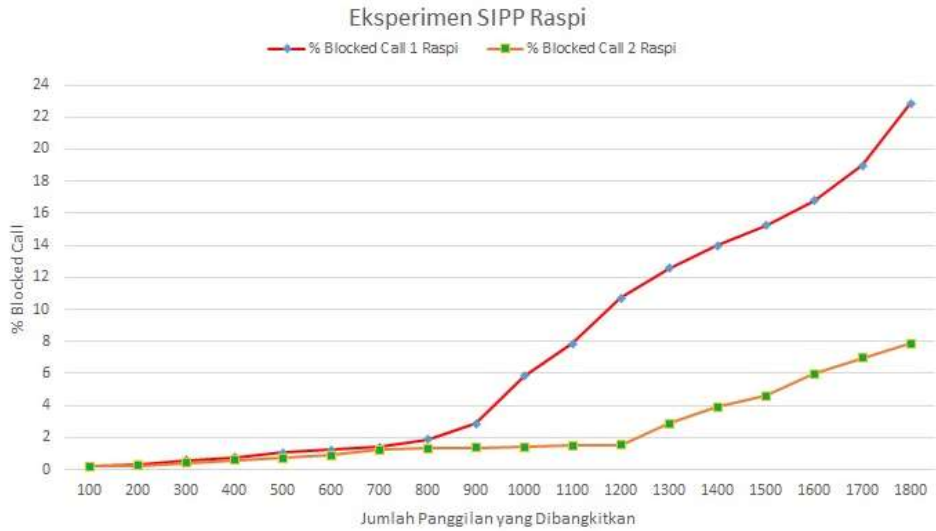
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa setelah optimasi parameter, *coverage area* yang diinginkan masih tercakupi oleh *node*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa QoS *coverage area* masih terpenuhi.

4.2.10.4 Kapasitas

4.2.10.4.1 Server Raspberry Pi

Dari hasil eksperimen yang dibahas pada point 4.2.6.2, diketahui jumlah panggilan yang dapat dihandle oleh Raspberry Pi dengan persentase *blocked call* maksimal 2% adalah 785 panggilan. Dari hasil eksperimen tersebut, satu buah Raspberry Pi dapat digunakan untuk menampung seluruh *user* di area Pulau Sebir. Namun untuk area Desa Ngadas, satu Raspberry Pi tidak cukup untuk menghandle semua *user* jika diinginkan persentase *blocked call* maksimal 2%. Oleh karena itu pada area Desa Ngadas dibutuhkan lebih dari satu raspberry pi.

Dengan menggunakan MPICH (implementasi dari *Message Passing Interface* yang *high performance* dan *portable*) untuk membuat *cluster computer*, beberapa Raspberry Pi dapat digabungkan untuk bekerja bersama menjalankan Kamailio. Setelah MPICH diimplementasikan pada Raspberry Pi, eksperimen dilakukan dengan prosedur yang sama seperti dilakukan pada eksperimen yang dijabarkan pada pembahasan 4.2.6.2. Berikut ini adalah hasil pengukuran SIPP di sisi *server*.



Gambar 4-29 Perbandingan Persentase Blocked SIP Call

Dari hasil eksperimen dapat dilihat bahwa dengan menggabungkan 2 buah Raspberry Pi, hingga jumlah panggilan sekitar 1176 panggilan per detik persentase *blocked call* masih berada di level kurang dari 2%. Maka dapat diambil kesimpulan, dengan menggunakan dua buah Raspberry Pi yang bekerja secara paralel, seluruh *user* Desa Ngadas dapat dilayani.

4.2.10.4.2 Kapasitas Jaringan

Berkurangnya kapasitas pada jaringan *mesh ad-hoc* tidak dapat dihindari karena adanya *multi-hop*. Oleh karena itu pada tahap ini diverifikasi apakah dengan adanya efek *multi-hop*, jaringan masih dapat menyediakan kapasitas sesuai dengan yang dibutuhkan *user*. Oleh karena itu dilakukan perhitungan dengan terlebih dahulu mengidentifikasi jumlah *hop* maksimal yang dilewati ketika *user* ingin melakukan komunikasi dengan *user* yang berada di area *node* yang berbeda. Dengan menggunakan *link node* pada gambar 4-22 dan 4-24 sebagai referensi untuk menentukan jumlah *hop* yang harus dilewati, tabel berikut ini menunjukkan jumlah maksimum *hop* yang harus dilewati ketika *user* ingin melakukan komunikasi dengan *user* di *node* lain.

Tabel 4-25 Jumlah *Hop* Maksimum Setiap *Node*

	Tujuan							
Sumber	sebira 1	sebira 2	sebira 3					
sebira 1	0	2	2					
sebira 2	2	0	2					
sebira 3	2	2	0					

	Tujuan							
Sumber	ngadas 1	ngadas 2	ngadas 3	ngadas 4	ngadas 5	ngadas 6	ngadas 7	ngadas 8
ngadas 1	0	1	3	4	5	6	2	3
ngadas 2	1	0	2	3	4	5	1	2
ngadas 3	3	2	0	1	2	3	1	2
ngadas 4	4	3	1	0	1	2	2	2
ngadas 5	5	4	2	1	0	1	3	3
ngadas 6	6	5	3	2	1	0	4	4
ngadas 7	2	1	1	2	3	4	0	1
ngadas 8	3	2	2	2	3	4	1	0

Langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas *link* antar *node*. Kapasitas *link* tanpa adanya *multi-hop* adalah 48.8 Mbps, nilai ini didapatkan dari hasil pengukuran pada point 4.7. Dengan adanya efek *multi-hop*, kapasitas *link* radio yang tersedia adalah $1/n$ dimana n adalah jumlah *node* yang dilewati. Tabel di bawah ini menunjukkan kapasitas *link* yang tersedia dalam satuan Mbps.

Tabel 4-26 Kapasitas Per *Link* (Mbps)

	Tujuan							
Sumber	sebira 1	sebira 2	sebira 3					
sebira 1	48.80	24.40	24.40					
sebira 2	24.40	48.80	24.40					
sebira 3	24.40	24.40	48.80					
	Tujuan							
Sumber	ngadas 1	ngadas 2	ngadas 3	ngadas 4	ngadas 5	ngadas 6	ngadas 7	ngadas 8
ngadas 1	48.8	48.8	16.3	12.2	9.8	8.1	24.4	16.3
ngadas 2	48.8	48.8	24.4	16.3	12.2	9.8	48.8	24.4
ngadas 3	16.3	24.4	48.8	48.8	24.4	16.3	48.8	24.4
ngadas 4	12.2	16.3	48.8	48.8	48.8	24.4	24.4	24.4
ngadas 5	9.8	12.2	24.4	48.8	48.8	48.8	16.3	16.3
ngadas 6	8.1	9.8	16.3	24.4	48.8	48.8	12.2	12.2
ngadas 7	24.4	48.8	48.8	24.4	16.3	12.2	48.8	48.8
ngadas 8	16.3	24.4	24.4	24.4	16.3	12.2	48.8	48.8

Setiap *user*, dibutuhkan kapasitas sebesar 34.8 Kbps yang didapatkan dari hasil eksperimen kebutuhan bitrate untuk *codec* GSM. Dengan membagi kapasitas *link* dengan 34.8 Kbps, maka didapatkan jumlah *user* maksimal yang dapat ditampung oleh *link* radio sebanyak jumlah yang ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 4-27 Jumlah Maksimum *User* Per *Node*

	Tujuan							
Sumber	sebira 1	sebira 2	sebira 3					
sebira 1	1402	701	701					

sebira 2	701	1402	701					
sebira 3	701	701	1402					
	Tujuan							
Sumber	ngadas1	ngadas2	ngadas3	ngadas4	ngadas5	ngadas6	ngadas7	ngadas8
ngadas 1	1402	1402	467	350	280	233	701	467
ngadas 2	1402	1402	701	467	350	280	1402	701
ngadas 3	467	701	1402	1402	701	467	1402	701
ngadas 4	350	467	1402	1402	1402	701	701	701
ngadas 5	280	350	701	1402	1402	1402	467	467
ngadas 6	233	280	467	701	1402	1402	350	350
ngadas 7	701	1402	1402	701	467	350	1402	1402
ngadas 8	467	701	701	701	467	350	1402	1402

Pada area Pulau Sebira, diasumsikan penduduk tersebar secara merata pada setiap *node*. Sehingga penduduk yang berada pada setiap *node* berjumlah 1/3 dari jumlah *user* yang akan dilayani. Sementara pada Desa Ngadas, penduduk tersebar di 3 area dengan luas area yang berbeda. Area 1 memiliki luas sekitar 0.21 Km² atau 72% dari luas pemukiman. Area 2 memiliki luas sekitar 0.076 Km² atau 26% dari luas pemukiman penduduk. Sedangkan Area 3 yang merupakan area terkecil memiliki luas sekitar 0.007 Km² atau 2% dari luas pemukiman penduduk. Dengan menggunakan tabel 4-16 sebagai referensi *node* mana teletak di area mana, tabel di bawah ini menunjukkan jumlah *user* yang berada di setiap *node*.

Tabel 4-28 Asumsi Jumlah *User* Setiap *Node*

Pulau Sebira			
Target <i>User</i>	392 orang	Jumlah <i>User</i>	
Persebaran Penduduk	33%	Sebira 1	130
		Sebira 2	130
		Sebira 3	130
Desa Ngadas			
Target <i>User</i>	1156 orang	Jumlah <i>User</i>	
Asumsi Persebaran Penduduk		Ngadas 1	828
Area 1	72%	Ngadas 2	828
Area 2	26%	Ngadas 3	828
Area 3	2%	Ngadas 4	299
		Ngadas 5	299
		Ngadas 6	27
		Ngadas 7	828
		Ngadas 8	828

Dengan menggunakan tabel di atas sebagai acuan jumlah *user* setiap *node*, dengan membagi jumlah *user* berdasarkan perbandingan kapasitas *multi-hop*, maka didapatkan jumlah *user* yang dapat ditampung oleh setiap *link* pada tabel berikut.

Tabel 4-29 Jumlah *User* Per *Node* berdasarkan Persebaran Penduduk

	Tujuan							
Sumber	sebira 1	sebira 2	sebira 3					
sebira 1	130	65	65					
sebira 2	65	130	65					
sebira 3	65	65	130					
	Tujuan							
Sumber	ngadas1	ngadas2	ngadas3	ngadas4	ngadas5	ngadas6	ngadas7	ngadas8
ngadas 1	828	828	276	207	165	138	414	276
ngadas 2	828	828	414	276	207	165	828	414
ngadas 3	276	414	828	828	414	276	828	414
ngadas 4	74	99	299	299	299	149	149	149
ngadas 5	59	74	149	299	299	299	99	99
ngadas 6	4	5	9	13	27	27	6	6
ngadas 7	414	828	828	414	276	207	828	828
ngadas 8	276	414	414	414	276	207	828	828

Dengan mengetahui jumlah *user* per *node*, maka dapat dihitung kebutuhan *user* setiap *node* dengan menggunakan acuan besar *codec* GSM sebagai besar kebutuhan data setiap *user*.

Tabel 4-30 Kebutuhan Data *User* Per *Node* (Mbps)

	Tujuan							
Sumber	sebira 1	sebira 2	sebira 3					
sebira 1	4.52	2.26	2.26					
sebira 2	2.26	4.52	2.26					
sebira 3	2.26	2.26	4.52					
	Tujuan							
Sumber	ngadas1	ngadas2	ngadas3	ngadas4	ngadas5	ngadas6	ngadas7	ngadas8
ngadas 1	28.81	28.81	9.60	7.20	5.74	4.80	14.41	9.60
ngadas 2	28.81	28.81	14.41	9.60	7.20	5.74	28.81	14.41
ngadas 3	9.60	14.41	28.81	28.81	14.41	9.60	28.81	14.41
ngadas 4	2.58	3.45	10.41	10.41	10.41	5.19	5.19	5.19
ngadas 5	2.05	2.58	5.19	10.41	10.41	10.41	3.45	3.45
ngadas 6	0.14	0.17	0.31	0.45	0.94	0.94	0.21	0.21
ngadas 7	14.41	28.81	28.81	14.41	9.60	7.20	28.81	28.81
ngadas 8	9.60	14.41	14.41	14.41	9.60	7.20	28.81	28.81

Setelah diketahui kebutuhan data *user* per *node*, selanjutnya dapat dihitung apakah setiap *node* mampu menyediakan kapasitas sesuai dengan yang dibutuhkan oleh *user*. Dengan mengurangi kapasitas maksimum *link*, yang ditampilkan pada tabel 4-22, dengan kapasitas yang dibutuhkan *user*, ditampilkan pada tabel 4-26, maka didapatkan kapasitas yang tersisa dari *link* radio seperti yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4-31 Sisa Kapasitas per *Link* dan Kebutuhan Data *User* (Mbps)

	Tujuan							
Sumber	sebira 1	sebira 2	sebira 3					
sebira 1	44.28	22.14	22.14					
sebira 2	22.14	44.28	22.14					
sebira 3	22.14	22.14	44.28					
	Tujuan							
Sumber	ngadas1	ngadas2	ngadas3	ngadas4	ngadas5	ngadas6	ngadas7	ngadas8
ngadas 1	19.99	19.99	6.66	5.00	4.02	3.33	9.99	6.66
ngadas 2	19.99	19.99	9.99	6.66	5.00	4.02	19.99	9.99
ngadas 3	6.66	9.99	19.99	19.99	9.99	6.66	19.99	9.99
ngadas 4	9.62	12.82	38.39	38.39	38.39	19.21	19.21	19.21
ngadas 5	7.71	9.62	19.21	38.39	38.39	38.39	12.82	12.82
ngadas 6	7.99	9.59	15.95	23.95	47.86	47.86	11.99	11.99
ngadas 7	9.99	19.99	19.99	9.99	6.66	5.00	19.99	19.99
ngadas 8	6.66	9.99	9.99	9.99	6.66	5.00	19.99	19.99

Dari hasil kalkulasi, tidak didapatkan nilai negatif pada setiap *link*. Hal tersebut menunjukkan bahwa kapasitas yang disediakan oleh setiap *link* mampu mengakomodasi kebutuhan *user*. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa parameter kapasitas jaringan telah memenuhi QoS.

4.2.11 Estimasi Biaya

Pada pembahasan ini dilakukan estimasi biaya yang terdiri atas biaya investasi, instalasi, operasional, dan pemeliharaan.

4.2.11.1 Estimasi Biaya Investasi

Berdasarkan informasi [27], suplai listrik dari PLN tidak tersedia di Pulau ini. Oleh karena itu untuk bisa mensuplai listrik untuk perangkat, maka akan dipasang *solar panel* di setiap *tower* dan disediakan satu buah genset yang digunakan sebagai *backup* jika diperlukan pengisian baterai. Tidak seperti Pulau Sebira yang harus mengandalkan *solar panel* dan genset sebagai sumber tenaga listrik, di Desa Ngadas tersedia pasokan listrik dari PLN. Namun sebagai *backup*, akan dipasang

solar panel di setiap *tower*. Untuk mengestimasi besar daya listrik yang dibutuhkan, diperlukan informasi mengenai konsumsi daya setiap perangkat. Tabel dibawah ini menunjukkan konsumsi listrik perangkat yang digunakan.

Tabel 4-32 Kebutuhan Daya Perangkat

Pulau Sebira			
Perangkat	Kebutuhan Daya (Watt/Jam)	Jumlah Perangkat	Total Daya (Watt/Jam)
Raspberry Pi	4	1	4
Wireless Node Pico Station	8	3	24
Monitor	13	1	13
Mouse	0	1	0
Keyboard	0	1	0
Total Daya			41
Desa Ngadas			
Perangkat	Kebutuhan Daya (Watt/Jam)	Jumlah Perangkat	Total Daya (Watt/Jam)
Raspberry Pi	4	2	8
Wireless Node Pico Station	8	5	40
Wireless Node Air Grid	3	3	9
Monitor	13	1	13
Mouse	0	1	0
Keyboard	0	1	0
Total Daya (Watt)			70

Dalam perancangan ini, diasumsikan waktu *charging solar panel* adalah 4 jam setiap harinya. Hal yang perlu diperhatikan adalah Raspberry Pi dan *wireless node* harus menyala selama 24 jam, sedangkan monitor hanya diperlukan di saat tertentu saja. Dalam perancangan ini diasumsikan waktu nyala monitor hanya 1 jam per hari. Di Pulau Sebira, suplai listrik akan mengandalkan *solar panel* dan genset. Sehingga seluruh kebutuhan listrik untuk perangkat harus dapat disediakan secara mandiri oleh PLTS. Untuk menghitung kebutuhan daya yang harus disediakan oleh *solar panel*, kebutuhan daya raspberry pi dan *wireless node* dikalikan dengan 24 jam dan ditambah kebutuhan daya monitor selama 1 jam. Sehingga total daya yang dibutuhkan di Pulau Sebira adalah 685 Watt. Tabel berikut ini menunjukkan perangkat yang diperlukan untuk membangun jaringan Pulau Sebira.

Tabel 4-33 Estimasi Biaya Investasi Pulau Sebira

Perangkat	Harga	Jumlah Satuan	Total Harga
Raspberry Pi	Rp. 1.000.000	1	Rp. 1.000.000
Ubiquiti Pico Station	Rp. 1.500.000	3	Rp. 4.500.000
Monitor Samsung LS19D300HY/ZP	Rp. 1.500.000	1	Rp. 1.500.000
Keyboard+Mouse Logitech Mk215	Rp. 300.000	1	Rp. 300.000

<i>Tower Triangle Galvanize 30cm x 30cm x 30cm</i>	Rp. 1.850.000	3	Rp. 5.550.000
Perangkat Grounding	Rp. 1.200.000	3	Rp. 3.600.000
<i>Solar panel 10 Wp</i>	Rp. 180.000	8	Rp. 1.440.000
Bracket <i>Solar panel</i>	Rp. 380.000	3	Rp. 1.140.000
Baterai Lithium Ion 12V 40Ah	Rp. 560.000	4	Rp. 2.240.000
Genset Firman 1 Kw	Rp. 2.552.000	1	Rp. 1.680.000
Controller	Rp. 280.000	1	Rp. 280.000
Kawat Sling Baja (harga per 1m)	Rp. 9.000	15	Rp. 135.000
Tuas Pemindah Listrik	Rp. 270.000	1	Rp. 270.000
Stopkontak	Rp. 13.000	4	Rp. 52.000
Kabel Listrik	Rp. 10.000	20	Rp. 200.000
Total			Rp. 23.887.000

Sementara itu untuk Desa Ngadas, *solar panel* digunakan sebagai *backup* jika aliran listrik dari PLN padam. Asumsi maksimum lama matinya listrik dari PLN adalah 6 jam. Maka untuk menghitung kebutuhan daya *solar panel*, kebutuhan daya Raspberry Pi dan *wireless node* dikalikan 6 jam ditambah kebutuhan listrik monitor selama 1 jam. Sehingga daya listrik yang diperlukan adalah 370 Watt. Setiap *solar panel* akan diletakkan pada *tower*. Berikut ini adalah estimasi biaya untuk pengadaan jaringan di Desa Ngadas.

Tabel 4-34 Estimasi Biaya Investasi Desa Ngadas

Perangkat	Harga	Jumlah Satuan	Total Harga
Raspberry Pi	Rp. 1.000.000	2	Rp. 2.000.000
Ubiquiti Pico Station	Rp. 1.500.000	5	Rp. 7.500.000
Ubiquiti Air Grid	Rp. 1.100.000	3	Rp. 3.300.000
Monitor Samsung LS19D300HY/ZP	Rp. 1.500.000	1	Rp. 1.500.000
Keyboard+Mouse Logitech Mk215	Rp. 300.000	1	Rp. 300.000
<i>Tower Triangle Galvanize 30cm x 30cm x 30cm</i>	Rp. 1.850.000	8	Rp. 14.800.000
Perangkat Grounding	Rp. 1.200.000	8	Rp. 9.600.000
<i>Solar panel 10 Wp</i>	Rp. 182.000	8	Rp. 1.456.000
Bracket <i>Solar panel</i>	Rp. 380.000	8	Rp. 3.040.000
Baterai Lithium Ion 12V 40Ah	Rp. 560.000	8	Rp. 4.480.000
Controller	Rp. 280.000	8	Rp. 2.240.000
Kawat Sling Baja (harga per 1m)	Rp. 9.000	40	Rp. 360.000
Stopkontak	Rp. 13.000	9	Rp. 117.000
Kabel Listrik	Rp. 10.000	50	Rp. 500.000
Total			Rp. 51.193.000

4.2.11.2 Estimasi Biaya Instalasi

Pada perancangan ini, biaya instalasi berupa biaya yang dibutuhkan untuk membeli bahan habis pakai yang digunakan untuk membangun jaringan serta untuk membayar tenaga *installer* dan *network engineer*.

Pada Pulau Sebir, ada tiga *tower* yang harus didirikan. Setiap *tower* diasumsikan selesai didirikan dalam waktu 1 hari. Sementara itu untuk konfigurasi jaringan, diasumsikan konfigurasi *server node* dan *wireless node* masing-masing selesai dalam waktu 1 hari. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk membangun dan mengkonfigurasi jaringan adalah 4 hari. Berikut ini adalah estimasi biaya instalasi untuk area Pulau Sebir.

Tabel 4-35 Estimasi Biaya Instalasi di Pulau Sebir

Perangkat	Harga	Jumlah Satuan	Total Harga
Bahan Habis Pakai			
Semen	Rp. 2.000/kg	30 kg	Rp. 60.000
Pasir	Rp. 400/kg	65 kg	Rp. 26.000
Batu Split	Rp. 500/kg	155 kg	Rp. 77.500
Bayaran Pekerja			
3 <i>Installer</i>	Rp. 600.000/ hari	3 hari	Rp. 1.800.000
1 <i>Network Engineer</i>	Rp. 200.000/hari	1 hari	Rp. 200.000
Total			Rp. 2.163.500

Sedangkan pada area Desa Ngadas, terdapat 8 *tower* dan 9 *node* yang harus dikonfigurasi. Dengan mengasumsikan jumlah pekerja yang disewa untuk membangun jaringan Desa Ngadas jumlahnya sama dengan pekerja yang disewa di Pulau Sebir, maka estimasi pendirian *tower* selesai dalam waktu 8 hari. Untuk konfigurasi *server* diasumsikan selesai dalam waktu 1 hari. Sedangkan untuk *wireless router* dalam 1 hari bisa selesai dikonfigurasi sebanyak 4 *router*. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk membangun hingga konfigurasi jaringan adalah 11 hari. Berikut ini adalah estimasi biaya instalasi untuk area Desa Ngadas.

Tabel 4-36 Estimasi Biaya Instalasi Desa Ngadas

Perangkat	Harga	Jumlah Satuan	Total Harga
Bahan Habis Pakai			
Semen	Rp. 2.000/Kg	50 kg	Rp. 100.000
Pasir	Rp. 400/kg	125 kg	Rp. 50.000
Batu Split	Rp. 500/kg	350 kg	Rp. 175.000
Bayaran Pekerja			
3 <i>Installer</i>	Rp. 600.000/hari	8	Rp. 4.800.000
<i>Network Engineer</i>	Rp. 200.000/hari	3	Rp. 600.000
Total			Rp. 5.725.000

4.2.11.3 Estimasi Biaya Operasional

Biaya operasional pada perancangan ini adalah biaya listrik yang dibutuhkan untuk menyalakan perangkat. Untuk Pulau Sebir, agar bisa menghasilkan listrik maka dibutuhkan solar sebagai bahan bakar genset. Sedangkan untuk *solar panel*

tidak dibutuhkan bahan bakar yang harus dibeli. Sehingga biaya operasional yang perlu dikeluarkan untuk Pulau Sebira adalah biaya pembelian solar. Asumsi genset digunakan selama 12 jam dalam sebulan. Dengan beban *server* Raspberry Pi dan *wireless router*, daya yang diperlukan selama 12 jam adalah 336 Watt. Untuk menghitung kebutuhan solar, digunakan perhitungan berdasarkan *Specific Fuel Consumption* (SFC). SFC adalah banyaknya konsumsi bahan bakar dari suatu generator berdasarkan jumlah pemakaian bahan bakar yang dibagi dengan daya output motor penggerak [43]. Dengan menggunakan nilai rata-rata SFC solar sebesar 194 g/kw/jam dan genset diasumsikan menyala selama 12 jam dalam sebulan, maka konsumsi solar selama sebulan adalah:

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi Solar} &= \text{Kebutuhan Daya} \times \text{Lama Nyala} \times \text{SFC} \\ &= 0.336 \times 12 \times 194 \\ &= 0.782 \text{ kg}\end{aligned}$$

Bahan Bakar Minyak (BBM) di Indonesia dijual dalam satuan liter. 1 liter setara dengan 1 kg/m³ dan solar memiliki berat jenis 0.8508 kg/m³. Sehingga banyaknya solar yang dibutuhkan dalam satuan liter adalah:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Solar (liter)} &= \frac{0.782}{0.8508} \\ &= 0.92 \text{ liter}\end{aligned}$$

Dari hasil kalkulasi didapatkan konsumsi solar untuk Pulau Sebira selama sebulan adalah 0.92 liter atau dibulatkan menjadi 1 liter.

Sementara itu untuk area Desa Ngadas, biaya operasional yang perlu dikeluarkan adalah biaya listrik PLN. Setiap perangkat mengkonsumsi daya yang berbeda sehingga perlu dikalkulasi besarnya daya listrik yang dikonsumsi setiap perangkat dalam waktu satu bulan. Tabel berikut ini merangkum informasi tersebut.

Tabel 4-37 Total Konsumsi Daya Perangkat Desa Ngadas Selama Sebulan

Perangkat	Konsumsi Daya (Watt)	Jumlah	Lama Nyala (Jam/Hari)	Total Daya dalam 30 Hari (Watt)
Raspberry Pi	4	2	24	5760
Ubiquiti Pico Station	8	5	24	28800
Ubiquiti Air Grid	3	2	24	4320
Monitor Samsung LS19D300HY/ZP	13	1	1	390
Total Daya (Watt)				41430

Dari hasil kalkulasi, selama 30 hari perangkat di Desa Ngadas mengkonsumsi daya sebanyak 41.43 kW. Dengan asumsi jenis sambungan listrik yang digunakan untuk keperluan sosial, berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) nomor 28 Tahun 2016, tarif tenaga listrik untuk batas daya 450 VA dengan beban < 30 kWh adalah Rp. 123 ditambah Rp. 10.000 biaya beban [44].

Dengan asumsi biaya solar adalah Rp. 10.000/liter dan biaya listrik PLN Rp. 123/kWh, maka estimasi biaya operasional per bulannya untuk Pulau Sebir dan Desa Ngadas adalah:

Tabel 4-38 Estimasi Biaya Operasional

Komponen	Harga	Jumlah Satuan	Total Harga
Pulau Sebir			
Solar	Rp. 10.000/liter	1 liter	Rp. 10.000
Desa Ngadas			
Listrik	Rp. 123/kWh + Rp. 10.000	41.43 kW	Rp. 15.096

4.2.11.4 Estimasi Biaya Perawatan

Perawatan jaringan pada perancangan ini dibagi menjadi dua macam, yakni perawatan preventif dan korektif. Perawatan preventif dilakukan untuk memastikan kondisi jaringan dalam keadaan baik. Sedangkan perawatan korektif dilakukan jika terjadi kerusakan perangkat.

Perawatan preventif meliputi pengecekan kondisi fisik perangkat dan melakukan test pada jaringan untuk memastikan bahwa layanan yang diberikan berjalan dengan baik. Perawatan preventif dilakukan setiap tiga bulan dan dilakukan oleh dua orang *network engineer*. Sehingga biaya yang dibutuhkan untuk perawatan preventif adalah biaya untuk membayar *network engineer*. Tabel berikut ini menunjukkan estimasi biaya perawatan preventif.

Tabel 4-39 Estimasi Biaya Perawatan Preventif

Komponen Pembiayaan	Harga	Banyak Satuan	Jumlah
Pulau Sebir			
<i>Network Engineer</i>	Rp. 200.000	2 Orang	Rp. 400.000
Desa Ngadas			
<i>Network Engineer</i>	Rp. 300.000	2 Orang	Rp. 600.000

Perawatan korektif hanya dilakukan jika terjadi kerusakan pada perangkat. Oleh karena itu perawatan preventif penting dilakukan sehingga jika ada perangkat yang terindikasi mengalami kerusakan, bisa diperbaiki atau diganti secepat mungkin. Harga setiap komponen diasumsikan naik sebesar 15% setiap tahunnya. Estimasi harga komponen pada beberapa tahun mendatang dibutuhkan untuk

memperkirakan berapa biaya yang harus dikeluarkan untuk penggantian perangkat jika terjadi kerusakan. Tabel berikut merangkum estimasi harga setiap komponen pada tahun ke-2 hingga ke-5.

Tabel 4-40 Estimasi Kenaikan Harga Komponen Per Tahun

Perangkat	Tahun ke-2	Tahun ke-3	Tahun ke-4	Tahun ke-5
Raspberry Pi	Rp.1.150.000	Rp.1.322.500	Rp.1.520.875	Rp.1.749.007
Ubiquiti Pico Station	Rp.1.725.000	Rp.1.983.750	Rp.2.281.313	Rp.2.623.510
Ubiquiti Air Grid	Rp.1.265.000	Rp.1.454.750	Rp.1.672.963	Rp.1.923.908
Monitor Samsung LS19D300HY / ZP	Rp.1.725.000	Rp.1.983.750	Rp.2.281.313	Rp.2.623.510
Keyboard + Mouse Logitech Mk215	Rp.345.000	Rp.396.750	Rp.456.263	Rp.524.703
Tower Triangle Galvanize 30cm x 30cm x 30cm (per 5m)	Rp.2.127.500	Rp.2.446.625	Rp.2.813.619	Rp.3.235.662
Perangkat Grounding	Rp.1.380.000	Rp.1.587.000	Rp.1.825.050	Rp.2.098.808
Solar panel 10 Wp	Rp.209.300	Rp.240.695	Rp.276.800	Rp.318.320
Bracket Solar panel	Rp.437.000	Rp.502.550	Rp.577.933	Rp.664.623
Baterai Lithium Ion 12V 40Ah	Rp.644.000	Rp.740.600	Rp.851.690	Rp.979.444
Controller	Rp.322.000	Rp.370.300	Rp.425.845	Rp.489.722
Kawat Sling Baja (harga per 1m)	Rp.10.350	Rp.11.903	Rp.13.689	Rp.15.743
Stopkontak	Rp.14.950	Rp.17.193	Rp.19.772	Rp.22.738
Genset Firman 1 Kw	Rp.2.934.800	Rp.3.375.020	Rp.3.881.273	Rp.4.463.464
Tuas Pemindah Listrik	Rp.310.500	Rp.357.075	Rp.410.637	Rp.472.233
Kabel Listrik (harga per 1m)	Rp.9.775	Rp.11.242	Rp.12.929	Rp.14.869

4.3 Rancangan Akhir

Dari seluruh proses perancangan yang telah dilakukan, berikut ini adalah rancangan akhir untuk Pulau Sebira dan Desa Ngadas.

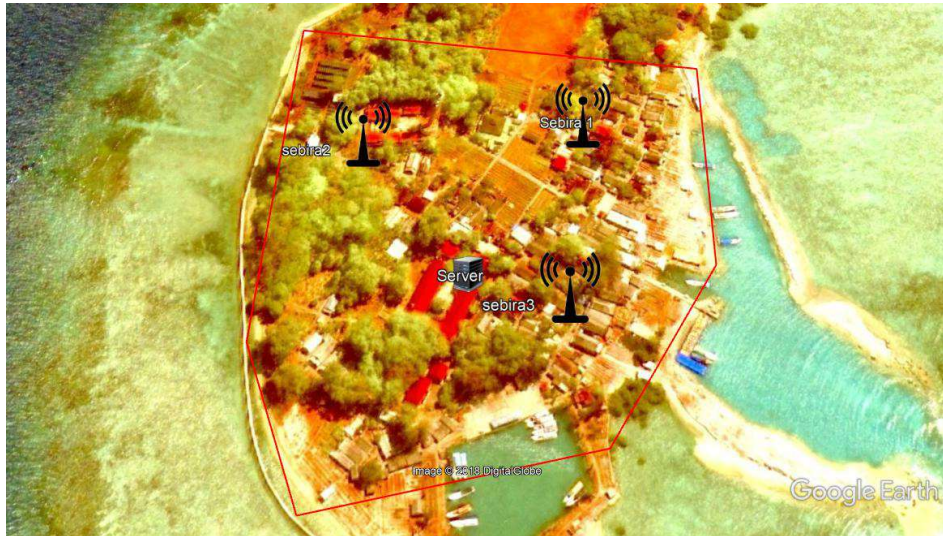
4.3.1 Rancangan Akhir Jaringan Pulau Sebira



Tabel berikut ini menunjukkan rancangan akhir jaringan untuk Pulau Sebira.

Tabel 4-41 Spesifikasi Rancangan Akhir Jaringan Pulau Sebira

Coverage Area	0.0059 Km ²
Target User	392 User
Kebutuhan Kapasitas	13.64 Mbps
Layanan	Voice Call
Aplikasi	VoIP - SIP Server Software: Kamailio - Audio Codec : GSM
Teknologi Jaringan	802.11n

	<ul style="list-style-type: none">- Channel Number: 1- Channel Width: 20 MHz- Routing Protocol: B.A.T.M.A.N Advanced				
Frekuensi Kerja	2.4 GHz				
Power Transmit	20 dBm (100 mW)				
Posisi Node					
Node	Longitude	Latitude	Ketinggian Tanah	Tinggi Tower	Device
1	106.4612	-5.2045	6.4 m	2 m	Ubiquiti Pico Station M2
2	106.4602	-5.2050	9.1 m		
3	106.4609	-5.2054	6.2 m		
Server	106.4605	-5.2055	4.2 m	-	Raspberry Pi



Komponen Jaringan	
<ul style="list-style-type: none">- Server : Raspberry Pi Tipe : Raspberry Pi 3 Model B Processor : Quad-Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU RAM : 1 GB Power Supply : 2.5 A/3.7 W Hard disk : Micro SD 16 GB Operating System : Ubuntu Mate 16.04	
<ul style="list-style-type: none">- Wireless Node : Ubiquiti Pico Station M2 Power Supply: 15V/0,8A Tx Power: 20 dBm Power Consumption: 8 Watts Gain Antenna: 5 dBi Sensitivity: -96 dBm Protocol: 802.11n	
<ul style="list-style-type: none">- Tower: Triangle Tinggi: 5m	

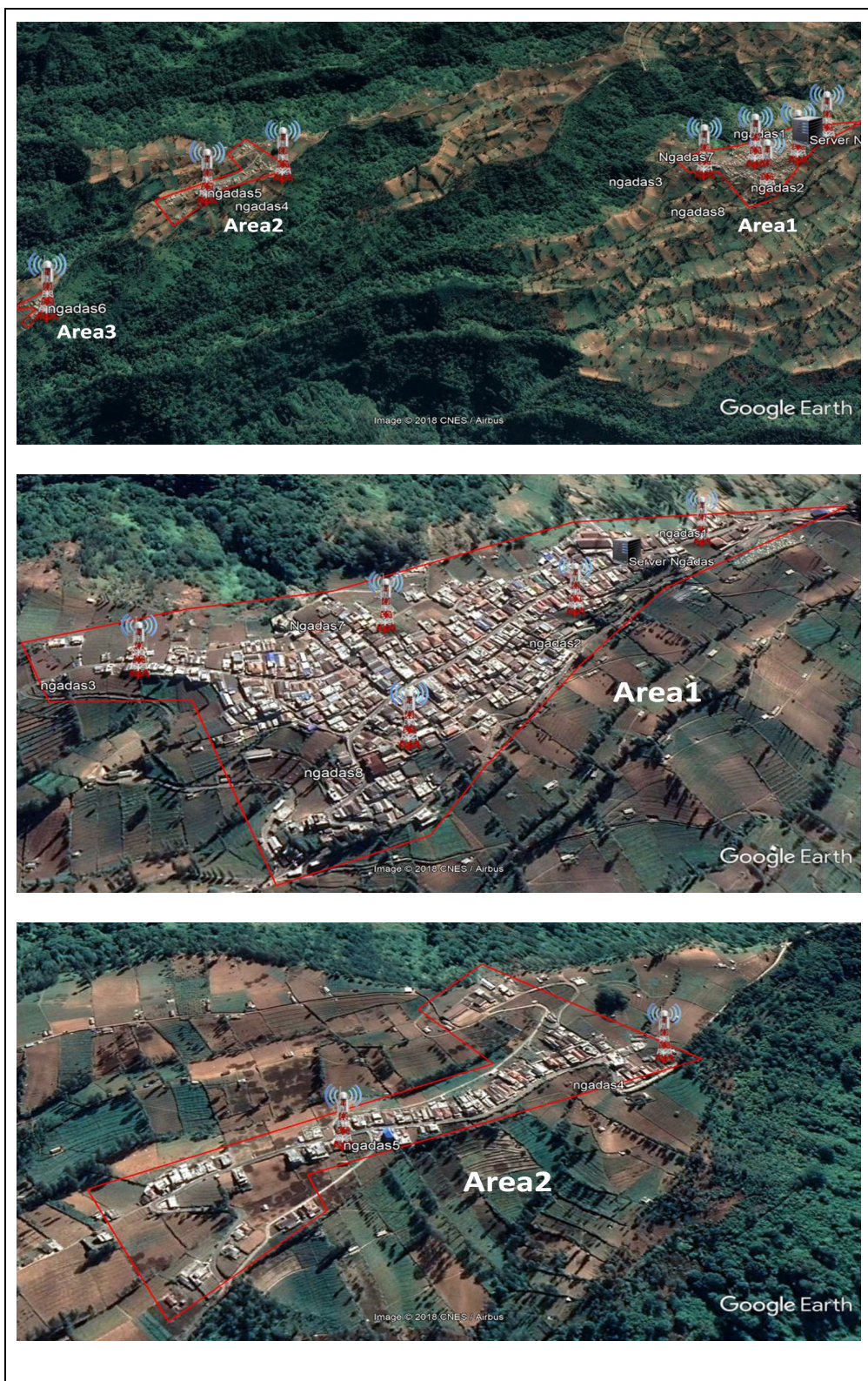
Estimasi Biaya:	
- Investasi	Rp. 23.887.000
- Instalasi	Rp. 2.163.500
- Operasional per Bulan	Rp. 10.000
- Perawatan Preventif per Triwulan	Rp. 400.000

4.3.2 Rancangan Akhir Jaringan Desa Ngadas

Tabel berikut ini menunjukkan rancangan akhir jaringan untuk Desa Ngadas.

Tabel 4-42 Spesifikasi Rancangan Akhir Jaringan Desa Ngadas

Coverage Area	0.6 Km ²					
Target <i>User</i>	1156 <i>User</i>					
Kebutuhan Kapasitas	40.23 Mbps					
Layanan	Voice Call					
Aplikasi	VoIP - SIP Server Software: Kamailio - Audio Codec : GSM					
Teknologi Jaringan	802.11n - Channel Number: 1 - Channel Width: 20 MHz - Routing Protocol: B.A.T.M.A.N Advanced					
Frekuensi Kerja	2.4 GHz					
Power Transmit	20 dBm (100 mW)					
Posisi <i>Node</i>						
<i>Node</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	Ketinggian Tanah	Tinggi Tower	<i>Device</i>	Area
1	112.9100	-7.9815	2156.1 m	6.5 m	Pico Station	1
2	112.9087	-7.9824	2153.1 m	5 m	Pico Station	
7	112.9071	-7.9826	2130.1 m	5 m	Air Grid 16 dBi	
8	112.9073	-7.9839	2126.2 m	6.5 m	Pico Station	
3	112.9051	-7.9832	2109.1 m	6 m	Air Grid 20 dBi	
4	112.8894	-7.9833	1969.1 m	5 m	Pico Station	2
5	112.8867	-7.9844	1927.3 m	5m	Air Grid 16 dBi	
6	112.8819	-7.9895	1824.5 m	5 m	Pico Station	3
Server	112.9092	-7.9818	2159 m	-	Raspberry Pi	1





Komponen Jaringan

- **Server : Raspberry Pi**

Tipe : Raspberry Pi 3 Model B

Processor : Quad-Core 1.2GHz Broadcom

BCM2837 64bit CPU

RAM : 1 GB

Power Supply : 2.5 A/3.7 W

Hard disk : Micro SD 16 GB

Operating System : Ubuntu Mate 16.04



- **Wireless Node:**

1) Ubiquiti Pico Station M2

Power Supply: 15V/0,8A

Tx Power: 20 dBm

Power Consumption: 8 Watts

Gain Antenna: 5 dBi

Sensitivity: -96 dBm



2) Ubiquiti Air Grid

Power Supply: 24V/0,5A

Tx Power: 20 dBm

Power Consumption: 3 W

Gain Antenna: 16 dBi dan 20 dBi

Sensitivity: - 96 dBm



17"x24", 20dBi Antenna



11"x14", 16dBi Antenna

- **Tower: Triangle**

Tinggi: 7m

Estimasi Biaya

- Investasi	Rp. 51.193.000
- Instalasi	Rp. 5.725.000
- Operasional per Bulan	Rp. 15.096
- Perawatan Preventif per Triwulan	Rp. 600.000

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil analisa yang telah dipaparkan, kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Metodologi perancangan jaringan yang digunakan terdiri atas: identifikasi profil area, verifikasi karakteristik area *rural*, menentukan luas jangkauan area, identifikasi layanan aplikasi dan teknologi jaringan, estimasi nilai QoS, menentukan komponen jaringan, menentukan kapasitas dan jangkauan jaringan, menentukan posisi *node*, menghitung *link budget*, verifikasi performansi jaringan, dan estimasi biaya. Dibandingkan dengan metodologi lainnya, metodologi perancangan yang dibuat mengutamakan kemudahan dalam implementasi, mempertimbangkan survey pasar untuk mengecek ketersediaan perangkat, mengaplikasikan standar yang ditetapkan pemerintah, dan mengoptimalkan penggunaan *tools* yang tidak berbayar
2. Dengan menggunakan metode perancangan yang telah ditentukan, area *rural* yang dirancang jaringannya pada penelitian ini adalah Pulau Sebir yang memiliki kontur tanah datar dan Desa Ngadas yang memiliki kontur tanah berbukit dengan layanan yang diberikan adalah VoIP dan menggunakan frekuensi kerja 2.4 GHz.
3. Dari hasil eksperimen, identitas *neighbor* yang terdeteksi pada *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* adalah MAC *address* perangkat. Sehingga IP *address planning* untuk *node* tidak dibutuhkan dalam proses perancangan. Dengan membandingkan jumlah data yang dipancarkan oleh *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* lebih sedikit 8 kb dibandingkan *routing* OLSR.
4. Dari hasil simulasi menggunakan Radio Mobile, seluruh area Pulau Sebir tercover dengan menggunakan 3 buah *wireless router*. Sedangkan untuk Desa Ngadas dibutuhkan 8 buah *wireless router* untuk mengcover seluruh area yang diinginkan.
5. Dari hasil kalkulasi *link budget* oleh Radio Mobile, *received signal* di Pulau Sebir memiliki nilai -76 dBm dan *link* radio di Desa Sebir berkisar antara -78 hingga -85 dBm.

6. E_b/N_0 yang dibutuhkan adalah 10.52 dB sedangkan dari hasil perhitungan nilai *link* Pulau Sebira memiliki nilai E_b/N_0 20.34-20.57 dB dan Desa Ngadas memiliki nilai E_b/N_0 11.62-21.59 dB.
7. Dari hasil eksperimen, jumlah *server* yang dibutuhkan untuk menampung seluruh *user* dengan presentase *blocking* maksimal 2% di Pulau Sebira adalah 1 buah *server* Raspberry Pi sedangkan di Desa Ngadas dibutuhkan 2 buah Raspberry Pi yang bekerja secara paralel.
8. Dari hasil kalkulasi kapasitas jaringan dengan memperhitungkan efek *multi-hop*, 3 buah *node* di Pulau Sebira dan 8 *node* di Desa Ngadas dapat mengakomodasi kebutuhan *user*.
9. Dari hasil kalkulasi dan eksperimen, seluruh QoS yang ditentukan terpenuhi.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya terkait perancangan jaringan *wireless mesh ad-hoc*, dapat dilakukan pengembangan sebagai berikut:

1. Dilakukan survey lapangan untuk lebih memastikan kondisi *real* area yang akan dirancang.
2. Saat ini, implementasi B.A.T.M.A.N *Advanced* hanya bisa dilakukan di perangkat yang support dengan OpenWrt. Oleh karena itu pengembangan *routing* B.A.T.M.A.N *Advanced* perlu dilakukan agar *routing* bisa diimplementasikan di lebih banyak perangkat.
3. Jenis layanan yang diberikan dapat ditambah, seperti *video call*, internet, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kemp, “Digital in 2018,” wearesocial, 2018.
- [2] S. Kemp, “Digital in 2018 in Southeast Asia Part 2,” wearesocial, 2018.
- [3] Balai Monitoring Kelas II Denpasar, “Peran UPT dalam Road Map Penataan Spektrum Frekuensi Nasional,” 2016.
- [4] B. Azzedine, *Algorithms and Protocols for Wireless and Mobile Ad-hoc Networks*, Ottawa: Wiley, 2009.
- [5] R. Bruno, M. Conti dan E. Gregori, “Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks,” dalam *IEEE Comm. Mag.*, vol. 37, pp. 123–131, 2005.
- [6] S. Lingfen, M. Is-Haka, E. Jammeh dan E. Ifeachor, *Guide to Voice and Video over IP*, UK: Springer, 2009.
- [7] Anonymous, “open-mesh,” [Online]. Available: <https://www.open-mesh.org/projects/open-mesh/wiki/BATMANConcept>. [Diakses November 2017].
- [8] S. Sen dan B. Raman, “Long Distance *Wireless Mesh Network Planning*: Problem Formulation and Solution,” dalam *16th International Conference on World Wide Web*, New York, 2007.
- [9] J. L. E. K. Fendji dan J. M. Nlong, “Rural *Wireless Mesh Network*: A Design Methodology,” *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, vol. 8, 2015.
- [10] S. Baliga, K. Chudasama dan D. Ambawade, “Real-Time Performance Evaluation and Stability Testing of RasPBX for VoWiFi,” dalam *International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, 2016.
- [11] B. Jane dan et all, *Wireless Networking in The Developing World Third Edition*, WNDW, 2013.
- [12] X. Wang, *Mobile Ad-hoc Networks: Protocol Design*, Croatia: InTech, 2011.

- [13] Anonymous, “open-mesh,” [Online]. Available: <https://www.open-mesh.org/projects/open-mesh/wiki>. [Diakses November 2017].
- [14] Anonymous, “open-mesh,” [Online]. Available: <https://www.open-mesh.org/projects/open-mesh/wiki/BranchesExplained>. [Diakses November 2017].
- [15] P. Gupta dan P. R. Kumar, “The Capacity of *Wireless Network*,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46, no. 2, 2000.
- [16] Mauluddin, “Jaringan-Jaringan Telekomunikasi Seluler & Jaringan PC,” 18 04 2009. [Online]. Available: <http://mdn-363.blogspot.com/>. [Diakses 03 12 2018].
- [17] M. Gast, 802.11 *Wireless Networks The Definitive Guide*, USA: O'Reilly, 2005.
- [18] M. S. Gast, 802.11n A Survival Guide, USA: O'Reilly Media, Inc., 2012.
- [19] A. B. Johnston, SIP : Understanding the Session Initiation *Protocol*, USA: Artech House, INC., 2004.
- [20] H. Jiang, A. Iyengar, E. Nahum, W. Segmuller, A. N. Tantawi dan C. P. Wright, “Design, Implementation, and Performance of a Load Balancer for SIP *Server Clusters*,” dalam *IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING*, 2012.
- [21] J. S. Tietjen, “Anita Longley's Legacy: The Longley-Rice Model - Still Going Strong After Almost 50 Years,” dalam *IEEE Antennas and Propagation Magazine Vol. 55 , No. 3*, 2013.
- [22] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall, 1995.
- [23] B. Sklar dan P. K. Ray, *Digital Communications Fundamental and Applications Second Edition*, India: Dorling Kindersley, 2014.
- [24] Unknown, “Wikipedia,” 19 10 2018. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Eb/N0>. [Diakses 09 12 2018].

- [25] BPS Kabupaten Kepulauan Seribu, “Kepulauan Seribu Utara dalam Angka 2017,” Badan Pusat Statistik Administrasi Kepulauan Seribu, 2017.
- [26] Sudin Kominfo Kab. Adm. Kepulauan Seribu, “Pulau Seribu Jakarta,” June 2016. [Online]. Available: <http://pulauseribu.jakarta.go.id/web/v2/?p=berita&id=2089>. [Diakses 3 September 2018].
- [27] S. Aribowo, “Tribarata News,” [Online]. Available: <http://www.polreskepulauanseribu.com/2017/07/bhabinkamtibmas-polres-pulau-seribu-175.html>. [Diakses 3 September 2018].
- [28] N. Aninda, “Bisnis Indonesia,” November 2017. [Online]. Available: <http://jakarta.bisnis.com/read/20171113/77/708496/anies-sorot-jaringan-telekomunikasi-buruk-di-pulau-seribu>. [Diakses 3 September 2018].
- [29] S. Widyawati, “suryamalang.com,” 3 April 2015. [Online]. Available: <http://suryamalang.tribunnews.com/2015/04/03/wisatawan-sulit-dapat-sinyal-telepon-di-tempat-wisata-malang>. [Diakses 4 September 2018].
- [30] M. Hata, “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services,” *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 29, 1980.
- [31] A. F. Molisch, *Wireless Communications* Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- [32] BPS, “Peraturan Kepala Badan Pusat Statistik Nomor 37 Tahun 2010 Tentang Klasifikasi Perkotaan dan Perdesaan di Indonesia,” Badan Pusat Statistik, 2010.
- [33] Kementerian Komunikasi dan Informatika, “Survey Penggunaan TIK,” Pusat Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Informatika dan Informasi dan Komunikasi Publik, D.K.I. Jakarta, 2017.
- [34] W.-T. Chen dan C.-Y. Lee, “Research Gate,” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/252477847_Assessing_Call_Quality_of_VoIP_and_Data_Traffic_over_Wireless_LAN. [Diakses 07 12 2018].

- [35] Tektronix, “Tektronix,” 06 01 2014. [Online]. Available:
<https://www.tek.com/document/poster/common-voip-service-quality-thresholds>. [Diakses 08 12 2018].
- [36] Badan Pusat Statistik, Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035, Badan Pusat Statistik, 2013.
- [37] Menteri Komunikasi dan Informatika, Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2015 tentang Persyaratan Teknis Alat Dan Perangkat Telekomunikasi yang Beroperasi pada Pita Frekuensi Radio 2,4 GHz dan/atau Pita Frekuensi Radio 5,8 GHz, Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, 2015.
- [38] Anonymous, “Radio Mobile,” [Online]. Available:
http://radiomobile.pelmew.nl/?Calculations:Propagation_calculation. [Diakses 11 08 2018].
- [39] Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang, Kecamatan Poncokusumo dalam Angka, Malang: Badan Pusat Statistik, 2017.
- [40] International Telecommunication Union, “Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies ITU-T G.711,” ITU, 1988.
- [41] ETSI, “Recommendation GSM 06.10 GSM Full Rate Speech Transcoding,” ETSI/TC SMG, 1992.
- [42] L. Hattersley, The Magpi, London: Seymour Distribution Ltd, 2018.
- [43] ABC Power, “ABC Power,” [Online]. Available:
<https://www.abcpowergenset.com/cara-menghitung-konsumsi-bahan-bakar-genset/>. [Diakses 09 November 2018].
- [44] Menteri Energi Sumber Daya dan Mineral, Peraturan Menteri Energi Sumber Daya dan Mineral Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2016.

LAMPIRAN

Harga Tower

Jenis Tower	Harga		
Triangle Painting 20cmx20cmx20cm	Rp. 1.000.000/7m	Rp. 850.000/5m	Rp. 950.000/5m
Triangle Galvanize 20cmx20cmx20cm	Rp. 1.250.000/7m	Rp. 1.350.000/5m	Rp. 1.250.000/5m
Triangle Painting 30cmx30cmx30cm	Rp. 1.400.000/7m	Rp. 1.550.000/5m	Rp. 1.400.000/5m
Triangle Galvanize 30cmx30cmx30cm	Rp. 1.750.000/7m	Rp. 1.850.000/5m	Rp. 1.750.000/5m
Square Painting 30cmx30cmx30cm			Rp. 1.700.000/5m
Square Galvanize 30cmx30cmx30cm	Rp. 2.750.000/7m		Rp. 2.200.000/5m
anti petir	Rp. 1.500.000		Rp. 1.000.000
Sumber	http://www.gudangtower.com/2011/10/daftar-harga-tower-triangle.html	http://www.rajatower.co.id/2013/01/daftar-harga-tower-triangle-harga-tower.html	http://pasangtowertriangle.com/harga-tower
Monopole 6m	Rp. 1.400.000	Rp. 2.375.000	Rp. 2.150.000
Monopole 10m			Rp. 4.500.000
Monopole 12m	Rp. 5.400.000	Rp. 8.750.000	
Monopole 15m			Rp. 8.500.000
Monopole 20m	Rp. 7.000.000	Rp. 18.300.000	Rp. 13.500.000
Monopole 25m			Rp. 27.500.000
Monopole 30m		Rp. 28.250.000	Rp. 31.000.000
Sumber	http://www.lintastowerindonesia.com/harga-tower-monopole/	http://www.hargatower.com/2016/09/harga-tower-monopole.html	http://www.visiotek.co.id/p/daftar-harga-tower-monopole.html
Self Supporting Tower 20m	Rp. 69.000.000		
Self Supporting Tower 42m	Rp. 255.000.000	Rp. 175.000.000	Rp. 70.469.300
Self Supporting Tower 52m	Rp. 390.000.000	Rp. 200.000.000	Rp. 96.900.900
Self Supporting Tower 62m	Rp. 515.000.000	Rp. 330.000.000	Rp. 134.483.500
Self Supporting Tower 72m	Rp. 667.000.000		Rp. 1.668.959.400
Sumber	http://www.hargatower.com/2016/09/harga-tower-sst-rectangular.html	http://www.cvdutari.mba.com/2016/06/	https://www.tokopedia.com/optimashopsl/sst-tower-4-kaki-pabrik-tower-tower-murah-tower-berkualitas

Cara Menginstall Kamailio

1. *Install mysql server* menggunakan perintah: **sudo apt-get install mysql-server**
2. *Install Kamailio dan modul mysql* menggunakan perintah: **sudo apt-get install kamailio kamailio-mysql-modules kamailio-ims-modules**
3. Edit konfigurasi file Kamailio menggunakan perintah: **sudo nano /etc/kamailio/kamctlrc**
4. Hilangkan tanda pagar (#) dari script yang ditebalkan:

your SIP domain

SIP_DOMAIN=192.168.189.2

chrooted directory

\$CHROOT_DIR="/path/to/chrooted/directory"

database type: MYSQL, PGSQL, ORACLE, DB_BERKELEY, DBTEXT,
or SQLITE# by default none is loaded

#

If you want to setup a database with kamdbctl, you must at least specify
this parameter.

DBENGINE=MYSQL

database host

DBHOST=localhost

database name (for ORACLE this is TNS name)

DBNAME=kamailio

database *path* used by dbtext, db_berkeley or sqlite

DB_PATH="/usr/local/etc/kamailio/dbtext"

database read/write *user*

DBRWUSER="root"

password for database read/write *user*

DBRWPW="root"

database read only *user*

DBROUSER="root"

password for database read only *user*

DBROPW="root"

database access host (from where is kamctl used)

DBACCESSHOST=192.168.189.2

database super *user* (for ORACLE this is 'scheme-creator' *user*)

DBROOTUSER="root"

5. Edit default configuration file Kamailio: ***sudo nano /etc/default/kamailio***
6. Hilangkan tanda pagar (#) dari script berikut ini:
Set to yes to enable kamailio, once configured properly.
RUN_KAMAILIO=yes
User to run as
USER=kamailio
Group to run as
GROUP=kamailio
7. Restart Kamailio menggunakan command: ***sudo service kamailio restart***
8. Buat database menggunakan command: ***sudo kamdbctl create***
9. Tekan **y** untuk setiap pilihan
10. Restart Kamailio sekali lagi menggunakan command: ***sudo service kamailio restart***
11. Cek status Kamailio menggunakan command: ***sudo netstat -ntulp | grep kamailio***
Jika ada notifikasi *LISTEN* maka Kamailio sudah aktif
12. Untuk menambahkan *user*, gunakan command: ***kamctl add [user] [password]***

Cara Install Routing B.A.T.M.A.N Advanced

1. Masuk ke *router* melalui putty
2. Ketik `opkg install kmod-batman-adv batctl`
3. Jika berhasil terdownload maka tersimpan di `/etc/config`

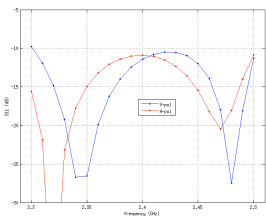
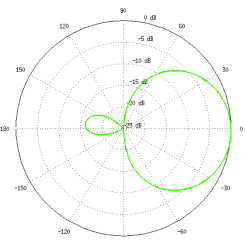
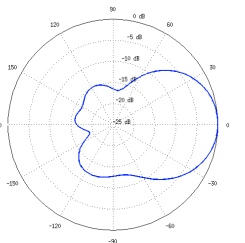
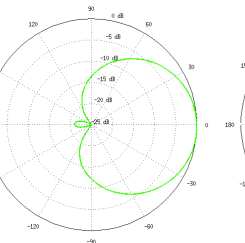
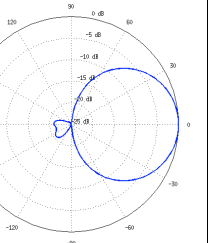
```
root@MANET01:/# ls etc/config/ -l
-rw-r--r-- 1 root root 489 Mar 30 2017 batman-adv
-rw-r--r-- 1 root root 964 Mar 30 2017 dhcp
-rw-r--r-- 1 root root 134 Mar 30 2017 dropbear
-rw-r--r-- 1 root root 2619 Mar 31 2017 firewall
-rw-r--r-- 1 root root 344 Mar 31 2017 fstab
-rw-r--r-- 1 root root 625 Mar 31 2017 luci
-rw-r--r-- 1 root root 652 Oct 30 00:37 network
-rw-r--r-- 1 root root 234 Mar 31 2017 ping_loop
-rw-r--r-- 1 root root 97 Mar 30 2017 rpcd
-rw-r--r-- 1 root root 794 Oct 29 22:55 system
-rw-r--r-- 1 root root 0 Mar 31 2017 ubootenv
-rw-r--r-- 1 root root 736 Dec 25 2016 ucitrack
-rw-r--r-- 1 root root 665 Mar 31 2017 uhttpd
-rw-r--r-- 1 root root 463 Nov 8 06:52 wireless
```

4. Untuk melakukan konfigurasi, edit file *network* dan *wireless* di folder `/etc/config` seperti berikut:

<pre>#!/etc/config/network #add mesh network config interface 'mesh' option ifname 'adhoc0' option mtu '1532' option proto 'batadv' option mesh 'bat0' #add access point bridge config interface 'mb' option ifname 'bat0' option type 'bridge' option proto 'static' option ipaddr '192.168.137.254' option netmask '255.255.255.0' option gateway '192.168.137.1'</pre>	<pre>#!/etc/config/wireless #add mesh info config wifi-iface 'wmesh' option device 'radio0' option ifname 'adhoc0' option network 'mesh' option ssid 'mesh' option mode 'adhoc' #add ap info config wifi-iface option device 'radio0' option network 'mb' option mode 'ap' option ssid 'Node1' option encryption 'none'</pre>
--	--

NanoStation Loco M2: Compact and cost-effective AirMax 2GHz CPE



Processor Specs		SYSTEM INFORMATION		Atheros MIPS 24KC, 400MHz					
Memory Information				32MB SDRAM, 8MB Flash					
Networking Interface				1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface					
REGULATORY / COMPLIANCE INFORMATION									
Wireless Approvals				FCC Part 15.247, IC RS210, CE					
RoHS Compliance				YES					
OPERATING FREQUENCY 2412-2462MHz									
&GHz TX POWER SPECIFICATIONS				&GHz RX SPECIFICATIONS					
	DataRate	Avg. TX	Tolerance		DataRate	Sensitivity	Tolerance		
11b/g	1-24Mbps	23 dBm	+/-2dB	11b/g	24Mbps	-83 dBm	+/-2dB		
	36Mbps	21 dBm	+/-2dB		36Mbps	-80 dBm	+/-2dB		
	48Mbps	19 dBm	+/-2dB		48Mbps	-77 dBm	+/-2dB		
	54Mbps	18 dBm	+/-2dB		54Mbps	-75 dBm	+/-2dB		
11n / AirMax	MCS0	23 dBm	+/-2dB	11n / AirMax	MCS0	-96 dBm	+/-2dB		
	MCS1	23 dBm	+/-2dB		MCS1	-95 dBm	+/-2dB		
	MCS2	23 dBm	+/-2dB		MCS2	-92 dBm	+/-2dB		
	MCS3	23 dBm	+/-2dB		MCS3	-90 dBm	+/-2dB		
	MCS4	22 dBm	+/-2dB		MCS4	-86 dBm	+/-2dB		
	MCS5	20 dBm	+/-2dB		MCS5	-83 dBm	+/-2dB		
	MCS6	18 dBm	+/-2dB		MCS6	-77 dBm	+/-2dB		
	MCS7	17 dBm	+/-2dB		MCS7	-74 dBm	+/-2dB		
	MCS8	23 dBm	+/-2dB		MCS8	-95 dBm	+/-2dB		
	MCS9	23 dBm	+/-2dB		MCS9	-93 dBm	+/-2dB		
	MCS10	23 dBm	+/-2dB		MCS10	-90 dBm	+/-2dB		
	MCS11	23 dBm	+/-2dB		MCS11	-87 dBm	+/-2dB		
	MCS12	22 dBm	+/-2dB		MCS12	-84 dBm	+/-2dB		
	MCS13	20 dBm	+/-2dB		MCS13	-79 dBm	+/-2dB		
	MCS14	18 dBm	+/-2dB		MCS14	-78 dBm	+/-2dB		
	MCS15	17 dBm	+/-2dB		MCS15	-75 dBm	+/-2dB		
PHYSICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL									
Enclosure Size				163 x 31 x80 mm					
Weight				0.18kg					
Enclosure Characteristics				Outdoor UV Stabilized Plastic					
Mounting Kit				Pole Mounting Kit included					
Max Power Consumption				5.5 Watts					
Power Supply				24V, 0.5A surge portection integrated POE adapter included					
Power Method				Passive Power over Ethernet (pairs 4,5+; 7,8 return)					
Operating Temperature				-30C to +80C					
Operating Humidity				5 to 95% Condensing					
Shock and Vibration				ETSI300-019-1.4					
INTEGRATED 2x2 MIMO ANTENNA									
Frequency Range		2.3-2.5 GHz		Max VSWR		1.4:1			
Gain		8 dBi		H-pol Beamwidth		60 deg.			
Polarization		Dual Linear		V-pol Beamwidth		60 deg.			
Cross-pol Isolation		20dB minimum		Elevation Beamwidth		60 deg.			
									
VSWR		H-Pol Azimuth		H-Pol Elevation		V-Pol Azimuth		V-Pol Elevation	

Specifications

System Information	
Processor Specs	Atheros MIPS 24KC, 400 MHz
Memory	32 MB SDRAM, 8 MB Flash
Networking Interface	(1) 10/100 Ethernet Port

Regulatory/Compliance Information	
Wireless Approvals	FCC Part 15.247, IC RS210, CE
RoHS Compliance	Yes

Physical/Electrical/Environmental	
Dimensions	136 x 20 x 39 mm
Weight	0.1 kg
Enclosure Characteristics	Outdoor UV Stabilized Plastic
Mounting	Wall or Pole Mounting Kit (Included)
Antenna Connector	External RP-SMA
Antenna USA EU	(1) External, 5 dBi Omni Antenna (Included) (1) External, 2 dBi Omni Antenna (Included)
Operating Frequency	2412-2462 MHz
Range Indoor Outdoor	Up to 200 m Up to 500 m
Max. Power Consumption	8 W
Power Supply (PoE)	15V, 0.8A Power Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)
Operating Temperature	-20 to 70° C
Operating Humidity	5 to 95% Condensing
Shock & Vibration	ETSI300-019-1.4

Output Power: 28 dBm							
2.4 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				2.4 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate/MCS	Avg. TX	Tolerance		Data Rate/MCS	Sensitivity	Tolerance
11b/g	1-24 Mbps	28 dBm	± 2 dB	11b/g	1-24 Mbps	-97 dBm	± 2 dB
	36 Mbps	27 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-80 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	26 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-77 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	24 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-75 dBm	± 2 dB
11n/airMAX	MCS0	28 dBm	± 2 dB	airMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	28 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	28 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	28 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	27 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	25 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	24 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	23 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB

All specifications in this document are subject to change without notice.

© 2010-2013 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved.



 www.ubnt.com

JL052413

AirGrid M2: Revolutionary 2.4GHz CPE Technology

InnerFeed

antenna technology

airMAX

MIMO TDMA Protocol



17"x24", 20dBi Antenna



11"x14", 16dBi Antenna



SYSTEM INFORMATION			
Processor Specs		Atheros MIPS 24KC, 400MHz	
Memory Information		32MB SDRAM, 8MB Flash	
Networking Interface		1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface	
REGULATORY / COMPLIANCE INFORMATION			
Wireless Approvals		FCC Part 15.247, IC RS210, CE	
RoHS Compliance		YES	
OPERATING FREQUENCY 2412MHz-2462MHz			

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Penulis telah menyelesaikan pendidikan jenjang S1 di Institut Sains dan Teknologi Nasional jurusan Teknik Elektro. Lulus pada Maret 2014. Kemudian penulis melanjutkan Program Pasca Sarjana Program Strata Dua (S2) Tahun 2017 pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).



Penulis telah mengikuti Seminar Tesis dengan judul **“Perancangan Jaringan Wireless Mesh Ad-hoc Menggunakan Protokol Routing Better Approach to Mobile Ad-hoc Network (B.A.T.M.A.N) Advanced untuk Area Rural”** pada 21 Desember 2017 dan Ujian Tesis pada 20 Desember 2018 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)

Nama : Nazmia Kurniawati
Alamat : Desa Jatiwaringin no. 47 Rt 005/01 Kec. Mauk Kab. Tangerang Prov. Banten 15530
Tempat, tanggal lahir : Tangerang, 26 Januari 1991
No. Telepon : 087882415908
Email : kurniawati.nazmia@gmail.com
Riwayat Pendidikan :
1. SD Negeri Jatigintung 01 (1997-2003)
2. SMP Negeri 1 Mauk (2003-2006)
3. SMK Telkom Sandhy Putra Jakarta (2006-2009)
4. Institut Teknologi Telkom Bandung (2009-2012)
5. Institut Sains dan Teknologi Nasional (2012-2014)
6. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2017-2018)